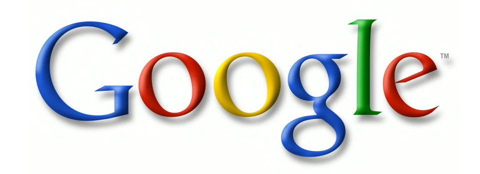
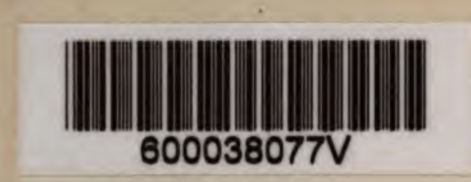





600038077V

GESCHICHTE

DER

ELEKTRIZITÄT

VON

DR. EDM. HOPPE.



LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1884.

GESCHICHTE

DER

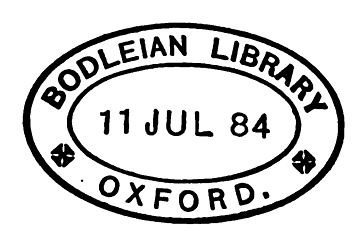
ELEKTRIZITÄT

VON

DR. EDM. HOPPE.



LEIPZIG,
JOHANN AMBROSIUS BARTH.
1884.



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

SEINEM VEREHRTEN LEHRER

HERRN GEHEIMEN HOFRAT

PROFESSOR DR. WILHELM WEBER

ALS ZEICHEN

DER HÖCHSTEN VEREHRUNG UND DANKBARKEIT

EHRFURCHTSVOLL GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Vorbemerkung.

Wenn ich den Titel des vorliegenden Buches „Geschichte der Elektrizität“ genannt habe, so bedarf das einer näheren Begründung. Will man in einer Geschichte der Elektrizität ein Verzeichnis mit Inhaltsangabe von sämtlichen Arbeiten und Entdeckungen, die jemals auf dem Gebiete der Elektrizität gemacht sind, haben, so wird man das vergeblich auf den folgenden Blättern suchen. Wenn ein solches Verzeichnis für den Forscher auch einen gewissen Wert hat, vorausgesetzt, daß es durchaus vollständig ist, so würde man dem Worte Geschichte doch Gewalt anthun, wollte man ein solches Werk Geschichte der Elektrizität nennen. Geschichte fordert Entwickelung! Es ist daher in der vorliegenden Arbeit der Versuch gemacht, ein Bild der Entwickelung der Elektrizitätslehre, wie sie geschichtlich geworden ist, darzubieten.

Man kann auch hier auf verschiedene Weise verfahren. Man könnte z. B. die ganze Entwickelung schematisch geben, indem man von Jahr zu Jahr die Fortschritte in den einzelnen Teilen der großen Elektrizitätslehre nach einander aufzählte, oder man könnte jeden einzelnen Zweig von den ersten Anfängen bis zur Jetztzeit einzeln verfolgen. Beides habe ich nicht gethan. Die erste Methode würde zu einer bunten Musterkarte führen, der jeder innere Zusammenhang fehlte; die zweite würde das ganze Buch in so und so viel einzelne Bücher zerlegen, ganz abgesehen davon, daß bei der mannigfachen Berührung der einzelnen Zweige der Wissenschaft unter Um-

ständen die strenge Durchführung dieses Prinzips doch ganz unmöglich wäre. Ich hielt es sowohl im Interesse des Lesers, als auch im Hinblick auf die enge Zusammengehörigkeit einzelner zeitlich oft weit von einander entfernter Entdeckungen für durchaus geboten, beide eben genannten Methoden der Darstellung zu vereinigen.

Zunächst teilte ich die ganze Entwickelung in fünf Epochen, deren Berechtigung sich wohl ohne viele Worte aus dem Texte selbst ergiebt. Man könnte vielleicht streiten über den Anfangspunkt der fünften Epoche, welche ich mit dem Ohmschen Gesetz begonnen habe, und könnte meinen, dieselbe wäre besser mit der Entdeckung der Induktion durch Faraday begonnen. Allein wenn man bedenkt, daß das Ohmsche Gesetz in seiner vollen Entwickelungsgeschichte bis in unsere Tage reicht, wenn man ferner erwägt, daß die Vorgeschichte der Faradayschen Untersuchung nahezu mit der Entstehung des Ohmschen Gesetzes zusammenfällt, so wird man sich, denke ich, auch mit der von mir gewählten Einteilung einverstanden erklären können. Wenn ich nun aber auch diese Epochen im allgemeinen streng geschieden habe, so schließt das doch nicht aus, daß in einzelnen Fällen bestimmte Fragen über den Rahmen der gerade zu schildernden Epoche hinaus verfolgt wurden oft bis in unsere Tage, nämlich allemal dann, wenn an der betreffenden Stelle die Angelegenheit mit wenigen Worten zu erledigen war, während die Darstellung der Versuche an den ihnen historisch zukommenden Stellen unvermittelt dagestanden haben würde. Das habe ich z. B. bei der Krystallelektrizität gethan, bei der atmosphärischen Elektrizität und einigen anderen Fragen. In der Epoche von Ohm bis zum Gesetz der Erhaltung der Kraft ist auch nur insofern historisch verfahren, als in den einzelnen Kapiteln die Chronologie gewahrt ist, während die Kapitel selbst sich nach ihrem inneren Zusammenhange ordnen, was für den Leser insofern ein Vorzug sein möchte, als er die einzelnen Fragen nun abgeschlossen behandelt findet.

Eine Geschichte erfordert aber einen bestimmten zeitlichen Abschluß. Den glaube ich sachgemäß gefunden zu haben in dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft; wobei nun nicht gemeint ist, daß mit dem Jahre 1842 die Darstellung ohne weiteres ab-

bräche. Zunächst habe ich überhaupt mit dem Gesetz nicht die erste Entdeckung desselben durch Robert Mayer im Auge, sondern vielmehr den Moment, wo das Gesetz auch in der Elektrizitätslehre eine Rolle zu spielen begann. Letzteres darf man aber erst nach Erscheinen der Helmholtzschen Arbeit 1847 sagen. Es ist deswegen auch mein Bestreben gewesen, nicht mit dem einfachen Auftreten des Gesetzes, sondern vielmehr mit der Durchführung desselben in den einzelnen Zweigen der Elektrizitätslehre zu schließen. Freilich war der Abschluß mit dem Jahre 1847 auch in den anderen Fragen nicht immer möglich, indem manche Probleme durch eine spätere Arbeit ihre definitive Erledigung gefunden haben, da erforderte es die historische Wahrheit, von solchen abschließenden Arbeiten Notiz zu nehmen, selbst wenn sie in die neuere, ja neueste Zeit fielen. Fragen dagegen, welche noch heute als offene zu betrachten sind, habe ich nicht über das Jahr 1847 hinaus verfolgt. Daß ich gerade dies Jahr als Endtermin wählte, hat auch seinen Grund in dem gleichzeitigen Auftreten des epochemachenden Weberschen Gesetzes.

Endlich habe ich den fünf ersten Abschnitten einen sechsten hinzugefügt, der den anderen gegenüber eine etwas selbständigere Stellung einnimmt. Es handelt sich darin um die technische Anwendung der Elektrizität zur Beleuchtung, für Maschinen und in der Telegraphie. In diesem Abschnitt bin ich selbstverständlich nicht beim Jahre 1847 stehen geblieben, sondern bis zur Jetztzeit fortgeschritten, und war es meine Absicht, darin ein möglichst gedrängtes Bild der Entwickelung dieser technischen Erfindungen zu geben. Es giebt in neuester Zeit ja auf diesem Gebiete eine Unzahl verschiedener Darstellungen von sehr verschiedenem Werte. Es ist mir aber kaum ein derartiges Buch bekannt, dem man nicht den schweren Vorwurf machen müßte, daß vor all den einzelnen aufgezählten Patenten, deren Wert doch oft ein sehr geringer ist, der leitende Gesichtspunkt völlig verloren geht und man über die wirklichen Fortschritte, die gemacht sind, fast ganz im Unklaren bleibt. Ich verzichte deswegen durchaus auf die Ehre, sämtliche Patente mit den berühmten Namen der Besitzer auch nur zu erwähnen. Es handelt sich in dem von mir Gebotenen

lediglich um eine Entwickelung der Prinzipien und Ideen, wie sie sich historisch gegebeu haben, daß jedoch dabei eine wichtigere Erfindung, welche jetzt oder früher einen besonderen Wert gehabt hätte übergangen wäre, glaube ich durchaus verneinen zu müssen.

Daß sich bei einer genaueren Durchmusterung der früheren Arbeiten manche neue Thatsache ergab, ist natürlich; besonders möchte ich in dieser Richtung auf die Zeit kurz vor Franklin, auf die Franklinschen Entdeckungen selbst, auf Oerstedts Arbeiten und das gesamte Zeitalter Ampères aufmerksam machen, wo sich eine große Anzahl von Stellen finden wird, die neue Thatsachen aus vergessenen Arbeiten und Entdeckungen enthüllen. Auch in dem Abschnitt über Elektrotechnik ist manches neue enthalten. Es dürfte überflüssig sein, die einzelnen Punkte hier aufzuführen; ich verweise in Bezug darauf auf die betreffenden Abschnitte selbst.

Es war mir oft sehr schwer, die Originalabhandlungen zu bekommen; wo meine Bemühungen fehl schlugen und ich gezwungen war, mich auf Kompendien zu verlassen, habe ich immer den gerade von mir benutzten Gewährsmann citiert und nicht das Original selbst, da ich Wert darauf legte, daß meine sämtlichen Citate von mir selbst durchgelesen waren. Die Schwierigkeit, die Originalabhandlungen einzusehen, wurde besonders dadurch erhöht, daß auf der hiesigen Stadtbibliothek oft einzelne Jahrgänge, ja ganze Serien der wichtigsten Journale fehlen. Ich habe da besonders der liebenswürdigen Unterstützung der Herren stud. math. F. Bohnert und stud. med. H. Fickweiler zu danken, welche auf der Göttinger Universitätsbibliothek von einzelnen Arbeiten, die ich sonst nicht erhalten konnte, wortgetreue Auszüge für mich besorgten, die mich in den Stand setzten, manche sehr seltene Schrift auf diese Weise benutzen zu können. Desgleichen verdanke ich Herrn Dr. Schumann in Danzig Notizen über Gralath.

Es erübrigt, daß ich die Stellung dieser Arbeit zu den Kompendien und sonstigen geschichtlichen Darstellungen der Elektrizitätslehre angebe. Von geschichtlichen Werken sind besonders zu nennen: Priestleys Geschichte der Elektrizität und Seyffers Geschichte des Galvanismus. Abgesehen davon,

daß Priestleys Geschichte hundert Jahre alt ist, ist sie auch für die Periode, welche sie behandelt, durchaus nicht überall zuverlässig. Priestley schreibt oft sehr parteiisch zu gunsten seiner Landsleute, und daher kommen deutsche Entdeckungen bei ihm vielfach zu kurz. Auch die Geschichte des Galvanismus von Seyffer habe ich nur sehr sporadisch benutzen können, wie eine etwaige Vergleichung ergeben wird. — Was nun die Kompendien betrifft, so habe ich neben Rieß Reibungselektrizität wesentlich nur Wiedemanns Lehre von der Elektrizität zu nennen, von der ich leider nur die beiden ersten Bände bei Abfassung meines Buches benutzen konnte. Erst nachdem der Druck meiner Arbeit in Angriff genommen war, gelangte auch der inzwischen erschienene dritte Band in meinen Besitz, sodaß derselbe auf dies Buch keine Einwirkung haben konnte. Wo ich die ebengenannten Werke benutzte, habe ich dieselben citiert.

Nach alledem ist das vorliegende Buch nicht dazu bestimmt, ein Lehrbuch oder Kompendium im allgemeinen zu ersetzen, es soll vielmehr daneben hergehen, indem es überall die historische Entwickelung zeigt, während jene natürlich nach anderen Prinzipien geordnet sind. Es wendet sich deswegen die „Geschichte der Elektrizität" auch durchaus nicht allein an die Studierenden oder Studierten, vielmehr wird der größte Teil des Buches jedem Gebildeten verständlich sein, wie ja auch meine öffentlichen Vorlesungen, welche ich seit Jahren im Auftrage der Behörde hier gehalten habe, und worin teilweise der Inhalt einzelner Abschnitte vorliegenden Buches besprochen wurde, von einem größeren Publikum besucht wurden. Weshalb ich auch auf rein theoretische Fragen näher eingegangen bin, habe ich an den betreffenden Stellen der Darstellung selbst eingefügt.

Um die leichtere Handhabung des Buches zu ermöglichen, habe ich ein ausführliches Sach- und Namenregister trotz der umfangreichen vorhergehenden Inhaltsangabe zugefügt. Wenn darin Mancher nun einen Namen oder eine Sache vermissen sollte, so bitte ich dies zu entschuldigen. Ich wiederhole: es war nicht Zweck des Buches, alles jemals Geschriebene zu reproduzieren, dann wäre aus den gegenwärtigen 600 Seiten wohl das Zehnfache geworden. Es war meine Absicht, einen

historischen Aufbau der Elektrizitätslehre zu liefern, und dabei wird, wie ich hoffe, eine wichtigere Arbeit nicht übergangen sein. Ich hoffe gezeigt zu haben, durch welchen Aufwand von Arbeit und von oft vergeblichen Versuchen schließlich die Erkenntnis in der Lehre von der Elektrizität von den kleinsten Anfängen zu so herrlicher Entfaltung kommen konnte.

Hamburg, am 22. März 1884.

Der Verfasser.

Inhaltsangabe.

(Die beigefügten Zahlen bezeichnen die §§).

I. Von der ältesten Zeit bis auf Franklin.

II. Das Zeitalter Franklins und Coulombs. 1747—1789.

Erstes Kapitel.
Franklin und seine Zeitgenossen.

Zweites Kapitel.
Turmalin- und Pyroelektrizität.

Drittes Kapitel.
Die Symmersche Theorie und die Nachfolger Franklins.

Viertes Kapitel.

Coulomb.

III. Von der Entdeckung des Galvanismus bis zum Jahre 1819.

Erstes Kapitel.

Galvani und Volta.

Zweites Kapitel.

Von 1801 bis 1819.

IV. Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus, von Oerstedt bis Nobili.

Erstes Kapitel.

Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom und Magnetisierung durch denselben.

Zweites Kapitel.

Ampères Entdeckungen und analoge Beobachtungen.

Drittes Kapitel.

Thermoströme.

Viertes Kapitel.

Abschluss der Untersuchungen dieses Zeitraumes.

V. Von Ohm bis zum Gesetz der Erhaltung der Kraft.

Erstes Kapitel.

Das Ohmsche Gesetz.

Zweites Kapitel.

Übergangswiderstand und Polarisation.

Drittes Kapitel.

Chemische Wirkungen.

Viertes Kapitel.

Konstante Elemente.

Fünftes Kapitel.

Sekundäre Elemente und Galvanoplastik.

Sechstes Kapitel.

Die Theorien des galvanischen Stromes.

Siebentes Kapitel.

Wärme und Elektrizität.

Achtes Kapitel.
Reibungselektrizität.

Neuntes Kapitel.
Die Potentialtheorie.

Zehntes Kapitel.
Tierische Elektrizität.

Elftes Kapitel.
Messapparate und Messmethoden.

a. Elektrische.

b. Galvanische.

Zwölftes Kapitel.

Induktion.

Dreizehntes Kapitel.

Das Webersche Gesetz.

Drittes Kapitel.

Geschichtliche Entwickelung der Telegraphie.

I. Von der ältesten Zeit bis auf Franklin.

Erstes Kapitel.

Einleitung. Gilbert bis Hawksbee 1600—1729.

1. Die Lehre von der Elektrizität ist eine verhältnismäßig junge Wissenschaft. Freilich reichen die Anfänge derselben bis ins klassische Altertum, allein erst mit dem Jahre 1600 p. Ch. beginnt die Elektrizität ein selbständiger Zweig der Physik zu werden. Die gesamten Kenntnisse des Altertums lassen sich in wenige Worte zusammenfassen.

Nach Angabe der griechischen Schriftsteller ist Thales von Milet von 640 bis 548 der Entdecker der elektrischen Natur des Bernsteins, die sich darin äußert, daß der geriebene Bernstein leichte Körper anzieht. Moderne Forscher, wie Buttmann, haben den griechischen Namen des Steines ἤλεκτρον von dem Verbum ἕλκειν = ziehen wegen dieser Anziehung ableiten wollen, andere aus dem arabischen elek = anhaften. Wie dem auch sei, jedenfalls hat der griechische Name für den Bernstein die Bezeichnung für alle verwandten Erscheinungen hergegeben. Die Griechen machten übrigens keinen Unterschied zwischen der Anziehung eines geriebenen Bernsteins und der eines natürlichen Magneten, das eine betrachteten sie gewissermaßen nur als eine Modifikation des andern. Erst Theophrastus von Eresus 371—286 fügte dem Bernstein ein Analogon in dem Lynkurion bei, allein uns ist es unbekannt, was für ein Stein das gewesen sein kann, man vermutet die verschiedensten Krystalle, ohne daß es gelungen wäre, nach der Beschreibung des Theophrast den richtigen festzustellen. Fügen wir noch hinzu, daß den Alten naturgemäß auch die

elektrischen Erscheinungen der Luft, jedoch ohne daß sie einen Zusammenhang geahnt hätten zwischen diesen und der Erscheinung am geriebenen Bernstein, bekannt gewesen sind, so habe ich die Kenntnisse der klassischen Völker in Bezug auf diesen Zweig der Physik vollständig aufgezählt. Es gibt freilich Gelehrte, welche, auf einzelne Aussprüche gestützt, mit Hilfe eines mehr oder weniger phantasievollen Gedankenfluges den vorklassischen Völkern eine bedeutend weitergehende Kenntnis der elektrischen Erscheinungen zusprechen wollen, allein die Deduktionen sind durchaus unerwiesene Vermutungen, z. B. die von den Indern gerühmte Verwendung eiserner Stangen als Blitzableiter u. s. w.; ich kann dieselben füglich übergehen.

2. Während nun im Zeitalter der Renaissance die Kenntnisse der Alten aus der Verborgenheit, in welcher sie von der Völkerwanderung an fast ein Jahrtausend gelegen hatten, hervorgeholt wurden, und in allen ihren Zweigen bald neue Ausbildungen und Erweiterungen erfuhren, blieb die Anziehung durch den geriebenen Bernstein auf leichte Körper fast ganz ohne Pendant. Erst mit dem Jahre 1600 setzt hier die neue Entwicklung, das neue Leben ein. In dem Jahre erschien das berühmte Werk Gilberts: Tractatus sive physiologia nova de magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure.

Gilbert war geboren 1540 zu Colchester, studierte zu Cambridge, wurde 1573 Arzt in London, dann Leibarzt der Königin Elisabeth und des Königs Jacob I., dessen Regierungsantritt er nur kurze Zeit überlebte; er starb 1603. Von seinen fundamentalen Untersuchungen über den Magnetismus wollen wir hier schweigen, jenes Werk aber enthält auch die Begründung der Elektrizitätslehre.

3. Von Gilbert stammt zunächst der Name Elektrizität, welchen er im zweiten Kapitel des zweiten Buches pag. 54 (Ausgabe von 1628) mit den Worten einführt: vim illam electricam nobis placet appellare. Ferner teilt Gilbert alle Körper in zwei Klassen: 1) solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und 2) solche, welche auch durch das heftigste Reiben nicht elektrisch werden. Zu der ersten Gruppe rechnet er unter andern: den Diamant, Saphir, Amethyst, Beryll, Bergkrystall, Glas, Schwefel, Mastix, Gummilack, Kolophonium etc., während

die zweite Gruppe vertreten ist durch Smaragd, Achat, Jaspis, Alabaster, Korallen, Marmor, Knochen, Elfenbein, Zedernholz, Metalle etc. Von den elektrischen Körpern angezogen werden fast alle Körper, welche in festem oder flüssigen Aggregatzustande sich befinden, während die Gase nach Gilbert keine Anziehung erleiden würden. Der Einfluß der Feuchtigkeit der Luft auf die Erregung der Elektrizität durch Reiben ist Gilbert nicht verborgen geblieben, ebensowenig die Thatsache, daß ein elektrischer Körper seine Elektrizität verliert, wenn er gebrannt und geröstet wird. Es muß überraschen, daß er die elektrische Natur der Flamme nicht erkannte, obgleich er zahlreiche Versuche in der Richtung machte; diese Lücke in seinen Beobachtungen bewirkte auch, daß er eine wunderbare Theorie über das Wesen der Elektrizität aufstellte. Danach sollte durch das Reiben ein Ausfließen aus dem elektrischen Körper erfolgen, und die nicht elektrisierbaren Körper unterschieden sich von der ersten Gruppe nur dadurch, daß dieser Ausfluß bei ihnen zu dick, zu erdig sei, die Anziehung erfolge dann in derselben Art, wie die Verschmelzung zweier gegeneinander fließender Wassertropfen.

Verdienstlich war weiter, daß Gilbert Unterschiede angab zwischen der elektrischen und magnetischen Anziehung, welche fördernd auf die Wissenschaft wirkte und streng beibehalten wurde, bis es endlich Ampère in dem dritten Decennium unseres Jahrhunderts gelang, zwischen Magnetismus und Elektrizität die Brücke wieder zu schlagen. Hervorgehoben muß noch werden, daß Gilbert sich eines sinnreichen Elektrometers bediente, er ließ ein Metallstäbchen nach Art einer Magnetnadel auf einer Spitze schwingen und konstatierte mit dem Apparat die Anziehung, welche ein geriebener Körper auf den Metallstab ausübte.

4. Etwa 30 Jahre später wiederholte der Jesuit Nikolaus Cabäus zu Ferrara (1585—1650) die Versuche Gilberts und entdeckte einige neue Körper, welche elektrisch wurden durch Reiben, z. B. weißes Wachs; und in den saggi di naturali sperienze fatte nell' Academia del Cimento, 1667, Firenze, finden wir als einzige neue Entdeckung auf diesem Gebiete im neunten Kapitel die beachtenswerte Thatsache, daß der geriebene

Bernstein, wenn man ihn um eine Flamme herumführt, seine Elektrizität verliert[1]), sonst ist aus dem Zeitabschnitt nach Gilbert nichts wesentliches zu berichten.

5. Erst Otto von Guericke förderte die Erfahrungen über die elektrischen Erscheinungen. Otto von Guericke war 1602 in Magdeburg geboren als Sohn eines Schultheiß und Richters. Auch er studierte anfangs Jura, später in Leyden Mathematik und Mechanik. Aus der Gefangenschaft, in welche er bei der Zerstörung seiner Vaterstadt 1631 geriet, kaufte er sich los und trat in schwedische Dienste, die er als Oberingenieur der Festung Erfurt 1642 wieder verließ, um sich seiner Vaterstadt zu widmen, wo er 1646 zum Bürgermeister erwählt wurde. Um das Jahr 1650 konstruierte er die erste Luftpumpe und kam in den folgenden Jahren zu der sehr viel wichtigeren Entdeckung der Elastizität der Luft, auf Grund dieser Erkenntnis verbesserte er 1663 seine Luftpumpe und konstruierte 1661 das erste Manometer. 1681 legte er das Amt des Bürgermeisters nieder und zog nach Hamburg, wo er 1686 starb. Guerickes elektrische Entdeckungen stammen aus dem Jahre 1663 und wurden 1672 zu Amsterdam veröffentlicht.[2])

6. Zunächst bemühte sich Guericke, einen Apparat zu stärkerer Erzeugung der Elektrizität zu konstruieren, er erfand so die erste Elektrisiermaschine; in einer Glaskugel schmolz er Schwefel, ließ diesen erkalten und zerschlug das umhüllende Glas, durchbohrte die Schwefelkugel, steckte eine eiserne Achse hinein, welche in ein Gestell gelegt werden konnte und so gedreht wurde. Als Reibzeug fungierte nach wie vor die Hand des Experimentators. Trotz dieser immerhin noch sehr primitiven Einrichtung war der Fortschritt gegen früher doch sehr groß, die Maschine lieferte ihm so viel Elektrizität, daß er bereits das Knistern beim Reiben und das Leuchten eines der Schwefelkugel genäherten Fingers beobachtete. Es ist nicht genau aus-

1) Es ist dies die erste Beobachtung von der Leitungsfähigkeit der Flamme für die Elektrizität; die Beobachtung von Miles im Jahre 1745, welche von Vielen als die erste angesehen wird, ist nur eine Wiederholung dieses ersten Experimentes.

2) Ottonis de Guericke, Experimenta nova magdeburgica 1672, lib. IV, cap. XV.

zumachen, ob Guericke auch den vollen elektrischen Funken gesehen hat, wahrscheinlich ist es nur der violette Lichtschein gewesen, welchen wir bei der Spitzenwirkung kennen. Guericke war es, der zuerst nicht nur Anziehung, sondern auch elektrische Abstoßung beobachtete. Eine Flaumfeder wurde zuerst von der geriebenen Schwefelkugel angezogen, dann aber abgestoßen und die einzelnen Härchen spreitzten selbst von einander, sobald er aber die Flaumfeder mit dem Finger berührte, wurde sie wieder von der Kugel angezogen. Ein an einem spitzigen Holze befestigter Leinenfaden zeigte auch am freien Ende Elektrizität, einerlei ob die geriebene Schwefelkugel das Holz berührte oder ihm nur genähert wurde. Wir können sonach unserem Landsmanne die Entdeckung der Leitung der Elektrizität, so wie die der Influenz eines Körpers auf einen anderen zuschreiben; müssen aber hier in noch höherem Grade wie bei den übrigen Entdeckungen des Magdeburger Bürgermeisters hinzufügen, das Publikum verstand ihn nicht und die Gelehrten ließen diese Fundamentalentdeckungen ebenfalls der Vergessenheit anheimfallen.

7. Auch der berühmte Zeitgenosse Guerickes jenseits des Kanals, Robert Boyle[1]), 1626—1691, hat die Kenntnis der Elektrizität nicht sonderlich gefördert, obgleich er sich sehr häufig mit ihr beschäftigte; er stürzte Gilberts Elektrizitätstheorie durch den Nachweis, daß die Anziehung zwischen dem geriebenen elektrischen Körper und dem genäherten eine gegenseitige sei, und daß die Anziehung auch im luftleeren Raume erfolge. Ein weiteres Verdienst Boyles ist, auf den Einfluß der Oberfläche des geriebenen Körpers aufmerksam gemacht zu haben. Die Elektrisierung ist um so stärker und dauerhafter, je reiner, wärmer und glatter die Oberfläche des geriebenen Körpers ist.

Der berühmtere Landsmann Boyles, Isaak Newton, 1642—1727, hat sich nur einmal erfolgreich mit Elektrizität beschäftigt, als er im Jahre 1675 der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften mitteilte[2]), daß eine Glasplatte mit Wolle

---

1) R. Boyle. De mechanica electricitatis productione. Genev. 1694.

2) Philos. Transact. 1675.

gerieben stark elektrisch werde. Sein Versuch wird heutzutage in unseren Kinderstuben mit Vorliebe nachgemacht. Eine trockne Glasplatte legte Newton auf einen flachen Ring auf einem Tische und that zwischen Platte und Tisch Papierschnitzelchen; sobald er rieb, hüpften diese in buntester Ordnung bald hierhin, bald dahin gegen die Glasplatte, um dieselbe nach kurzer Berührung wieder zu verlassen. Wunderbar ist dabei, daß Newton keine Erklärung beifügt, 60 Jahre später ergab sie sich von selbst aus den Entdeckungen Du Fayes.

8. Etwas später haben zwei andere Engländer die Kenntnis der Elektrizität wesentlich bereichert; der erste ist Dr. Wall, welcher aus einem großen, auf Wolle geriebenen Bernstein einen fast einen Zoll langen Funken zog und hierbei einen starken Knall hörte, wie beim Zerspringen von Steinkohlen beim Verbrennen, auch bekam er an der Stelle des Fingers, wohin der elektrische Funken gesprungen war, einen Stoß, ja er wagt sogar auszusprechen, daß dieses Licht und Knistern einigermaßen Blitz und Donner vorstelle. Eine klare Vorstellung über diese Funkenbildung hatte Wall aber nicht.

9. Bedeutender sind die Leistungen des Zeitgenossen Hawksbee, † 1713. Er ging aus von der zuerst von Picard 1675 gemachten Entdeckung, daß einzelne Barometer bei Erschütterungen in dem oberen luftleeren Raume Lichterscheinungen zeigen. Ueber diese Erscheinung ist eine vollständige Litteratur entstanden, indem zunächst die Bedingungen festgestellt wurden, unter welchen dies Leuchten überhaupt beobachtet werde, dann nach den Gründen gesucht wurde. In erster Linie dabei beteiligt war Bernoulli, welcher die Cartesianische Theorie der Materie zur Erklärung heranzog. Besonders die auffällige Thatsache, daß dies Leuchten am stärksten ist in nicht gleich weiten Röhren, brachte Hawksbee zu der Annahme, es hier mit einem elektrischen Vorgange zu thun zu haben, der daher rühre, daß das Quecksilber an den Wandungen der Röhre riebe und dadurch Elektrizität erzeuge. Deswegen steckte er eine hohle Glaskugel auf eine schnell drehbare Achse und rieb die Kugel mit der Hand, nun wurde sie stark elektrisch, pumpte er dann dieselbe luftleer, so erschien ihm dasselbe Leuchten, welches er in dem oberen leeren Raum des

Barometers beobachtet hatte. Näherte er seinen Finger auf einen Zoll Distanz, so erfolgte ein intensiver Funken, am stärksten wurde die Elektrizität, wenn er nur ganz sanft aufdrückte und die Hand reichlich erwärmt hatte. Auch beobachtete er das prickelnde Gefühl, welches man hat, wenn man einer solchen geriebenen Glasröhre das Gesicht nähert. Obgleich Hawksbee diese Versuche bereits 1705 angefangen hatte zu publizieren [1]), sind die Glaselektrisiermaschinen doch erst viel später in allgemeinen Gebrauch gekommen. Man interessierte sich damals hauptsächlich für das elektrische Leuchten im luftverdünnten Raume und bemühte sich, diese Erscheinungen möglichst glänzend herzustellen. Die Pariser Akademie beauftragte Cassini und Bernoulli mit der Untersuchung dieses Phänomens, doch ist aus den von diesen Forschern 1707 erschienenen Arbeiten eigentlich nur neu das Leuchten des Katzenfells, wenn man das Thier mit der Hand reibt und die Lichterscheinung, welche durch Reiben des Glases mit Queeksilberamalgam hervorgerufen wird. Auf die Theorie dieser Erscheinungen gehe ich an geeigneter Stelle ein. [2])

10. Dieser ganze Abschnitt enthält eigentlich nur Anfänge, es sind fast nur vereinzelte Erscheinungen entdeckt, man tappt noch im Dunkeln, ohne ein planmäßiges Vorgehen. Die Keime zu den späteren fundamentalen Entdeckungen sind wohl da, aber es fehlt die erfolgreiche Durchführung der Ideen. Wir finden bei v. Guericke ein Experiment, welches die Leitung der Elektrizität durch einen Hanffaden zeigt, wir finden bei ihm die erste Beobachtung einer Influenz und doch ist er nicht zum Unterschied von Leitern und Nichtleitern gekommen. Wir finden bei Newton und Wall einen wollenen Streifen Zeug zum Reiben, und doch sehen wir Hawksbee fast immer wieder mit der Hand reiben, und seine Nachfolger ebenfalls. Wir sehen Hawksbee Glaskugeln und Schwefelkugeln, Siegellackstangen und Röhren reiben, und doch findet er nicht den Unterschied der dabei erregten Elektrizitätsarten. Es sind Grundlagen gegeben, erst die nächste Epoche soll darauf die Fortführung des Baues

1) Phil. Transact. 1705, vollständig in Physico-mechanical experiments 1709.

2) Cfr. § 53.

liefern und die experimentellen Thatsachen so weit zusammenbringen, daß eine darauf folgende Generation sich mit der Theorie der Elektrizität erfolgreich beschäftigen kann. Selbstverständlich haben sich noch außer den Genannten eine große Zahl wissenschaftlicher Männer während dieses Zeitabschnitts mit elektrischen Untersuchungen beschäftigt, aber die Resultate aller Untersuchungen reichten nicht über das von mir angeführte hinaus.

Zweites Kapitel.

Von Gray bis zum Auftreten Franklins.

Mit dem Jahre 1729 beginnt eine neue Epoche, welche für die Elektrizitätslehre unendlich fruchtbar und bedeutungsvoll ist. Man hat unsere jetzige Zeit das Zeitalter der Elektrizität genannt, im Gegensatz zu dem Anfang dieses Jahrhunderts, welchen man als das Zeitalter des Dampfes unterschieden wissen wollte, allein diese Bezeichnung kann nur für den oberflächlichen Beschauer etwas Bestechendes haben, man muß wissenschaftlich das Zeitalter der Elektrizität mit dem Jahre 1729 beginnen. Die fundamentalen Entdeckungen jener Jahre waren für die damalige Welt genau so überraschend und für die Wissenschaft unendlich wertvoller, wie heutzutage z. B. die Erfindung des Bell'schen Telephons.

11. Im Jahre 1729 entdeckte ein Engländer, Stephan Gray († 1736), Mitglied der Akademie der Wissenschaften in London, den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektrizität. Wann Gray geboren, ist nicht bekannt. Thomson sagt in seiner Geschichte der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften pag. 432: „Es ist wunderbar, daß keine biographischen Notizen auf uns gekommen sind über einen Mann, dem die Elektrizität so viel verdankt.“ Aus seinen zahlreichen Aufsätzen in den Phil. Trans. geht nur so viel hervor, daß er sich zu Anfang seiner wissenschaftlichen Thätigkeit von 1696 bis 1703 fast nur mit optischen Untersuchungen beschäftigt hat. Erst im Jahre 1720 begegnen wir einer elektrischen Arbeit. Seine wichtigsten Entdeckungen publizierte[1]) Gray von

1) Phil. Trans. 1731, 32, 35, 36.

1731—36. Zunächst machte er dieselben Versuche wie Otto v. Guericke mit der Flaumfeder, bemerkte dabei aber, daß, wenn er einen Kork in die geriebene Glasröhre stecke, dieser auch die Flaumfeder anziehe, dasselbe geschah, als er in den Kork eine lange Stange aus Holz oder Metall einschob, ja die Feder wurde von dem mit einer Kugel versehenen Ende stärker angezogen, wie von dem Drahte selbst. Nun befestigte Gray eine lange Hanfschnur an der Glasröhre und legte dieselbe über einen eisernen Haken in der Decke, von wo das mit einer Kugel versehene Ende frei herabhing. Aber nun beobachtete Gray keine Elektrizität in der Kugel, er folgerte richtig: das hat der Nagel schuld. Sein Freund Wheler, ein Geistlicher, riet ihm, den Bindfaden von Seidenschnüren tragen zu lassen. Gray ging darauf ein, weil er meinte, daß durch den dünnen Seidenfaden nicht so viel Elektrizität entweiche wie durch den Nagel; so fanden sie in Whelers Hause am 2. Juli 1729[1]) am Ende einer 147 Fuß langen, auf diese Weise befestigten Hanfschnur wieder Elektrizität, sobald die Glasröhre gerieben wurde. Als sie am folgenden Tage die Schnur noch länger machten, zerrissen die seidenen Träger und sie ersetzten dieselben durch dünne Messingdrähte, allein nun zeigte sich am Ende der Hanfschnur keine Elektrizität, die aber sofort wieder eintrat, als sie zu seidenen Trägern zurückkehrten. So hatte Gray den Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern aufgefunden und untersuchte nun alle möglichen Körper in Bezug auf diese Eigenschaft.

12. Eine zweite eben so wichtige Entdeckung machte er im Verfolge seiner Untersuchungen, die Entdeckung der Influenz auf isoliert aufgehangenen Leitern, indem er bemerkte, daß es durchaus nicht nötig sei, daß jene Körper mit der geriebenen Glasstange berührt würden, eine Annäherung des elektrischen Körpers reiche hin, alle Erscheinungen hervorzurufen, wie sie bei der Berührung beobachtet seien. Er fand so tierische Körper als Leiter der Elektrizität, indem er einen Knaben an Haarschnüren aufhing und durch Annähern einer geriebenen Glasröhre bewirkte, daß leichte Metallstückchen aus großen

1) Fischer, Geschichte der Physik 1804, V, pag. 437.

Entfernungen angezogen wurden. Gray stellte 1732 den Knaben auf einen Harzkuchen und fand ihn gerade so gut isoliert als vorher in den Haarschnüren, so können wir Gray auch den Erfinder des Isolierschemels nennen. Eine andere wichtige Entdeckung ist ebenfalls von ihm gemacht, ohne jedoch richtig verstanden zu sein. Er wollte untersuchen, ob die Menge der erregten Elektricität und die dadurch bewirkte Anziehung abhängig von der Masse des Körpers sei; zu dem Zwecke hing er an seiner Schnur einen massiven Eichenklotz, teilte ihm Elektrizität mit und beobachtete die Anziehung, dann setzte er an seine Stelle einen hohlen Eichenklotz von gleicher Größe und fand dieselbe Stärke der Anziehung; er schloß daraus, daß dieselbe unabhängig von der Masse sei, während er daraus hätte den Schluß ziehen sollen: die Elektrizität verteilt sich auf der Oberfläche. Gray aber stand in derselben Ansicht, wie später Franklin, daß die Elektrizität die Körper ganz durchdringe. Ich will hier gleich ein Beispiel erwähnen, welches Franklin für geeignet hält, diese seine Meinung zu beweisen; er sagt in seinem vierten Briefe § 45: „Man kann aus diesem Grunde keine nasse Ratte durch Entladung der elektrischen Flasche todtschlagen, welches bei einer, die trocken ist, sehr wohl angeht“[1]), da bei der nassen die Elektrizität durch das Wasser, bei der trocknen durch den Körper hindurchgeht. Offenbar handelt es sich da nur um bessere und schlechtere Leitung der Elektrizität.

Gray zeigte ferner die Einwirkung der Elektrizität auf Flüssigkeiten, indem er eine Schale mit Wasser auf einen Isolierschemel stellte und nun eine geriebene Glasröhre näherte, da erhob sich ein Wasserberg über dem Niveau der Schale, welcher wieder zurücksank, wenn die Glasröhre mit dem Finger ableitend berührt wurde, oder indem er eine Seifenblase aus einer Pfeife blies und nun dieselbe dadurch elektrisierte, daß er eine

---

1) Franklins Briefe von der Elektricität, übersetzt von Wilke. Leipzig 1758, pag. 66. In der Originalausgabe von Experiments and Observations on Electricity etc. by Franklin, London 1769, ist es der fünfte Brief; pag. 50 findet sich jedoch die Anmerkung: It is since thought that one of the large glass jars, mentioned in these papers, might have killed him, though wet.

geriebene Glasröhre ihr näherte, jetzt zog die Seifenblase kleine Metall- und Holzstückchen an, ihren leitenden Charakter damit beweisend.

13. Fast gleichzeitig mit Gray förderte ein Franzose, Charles François de Cisternay du Fay die Lehre von der Elektrizität um ein Bedeutendes. Du Fay war in Paris geboren 1698, war mit 14 Jahren Lieutenant, gab die militärische Carriere auf nach dem Friedensschluß und widmete sich ganz den Wissenschaften, wurde 1723 Mitglied der Akademie und starb schon 1739 an den Blattern. Seine elektrischen Untersuchungen veröffentlichte er in acht langen Abhandlungen in den Memoiren der Akademie der Wissenschaften zu Paris von 1733, 1734 und 1737. Zunächst wiederholte er die Versuche Grays und fand dabei einige neue Erscheinungen, z. B. zog er aus dem isoliert aufgestellten elektrischen Knaben zur großen Bestürzung der Zuschauer Funken, desgleichen aus dem Fell einer auf ein seidenes Kissen gesetzten, geriebenen Katze. Er fand die Leitungsfähigkeit der Körper bedeutend erhöht, wenn dieselben feucht waren; er machte zuerst darauf aufmerksam, daß die nicht- oder schlechtleitenden Körper sich dadurch besonders auszeichnen, daß sie es sind, die durch Reiben mit Zeugstücken oder Fellen elektrisch werden, während bei den guten Leitern, wie Metallen, das Reiben keinen Erfolg verspricht, daß diese dagegen elektrisiert werden, wenn man sie isoliert aufstellt und ihnen einen elektrisierten Körper nähert, oder sie damit berührt. Ebenso sprach er zuerst den leitenden Charakter der Flamme aus. Wir haben gesehen, daß schon v. Guericke dahingehende Beobachtungen machte, aber er kam nicht zu der Unterscheidung von Leitern und Nichtleitern. Erst Du Fay stellte durch den Versuch, daß einem isoliert aufgestellten Leiter von einem zehn bis zwölf Zoll entfernten elektrisierten Körper die Elektrizität mitgeteilt wurde, durch eine zwischengestellte Flamme, diese in die Reihe der Leiter der Elektrizität. Die wichtigste Entdeckung dieses zu früh dahingerafften Mannes aber war die verschiedene Natur der durch Reiben erzeugten Elektrizität. Du Fay rieb eine Glasstange und hielt ein Goldblättchen dadurch in der Schwebe; nun rieb er einen Kopal und fand, daß nicht, wie er nach den bisherigen Vorstellungen erwartet hatte,

nun das Goldblättchen abgestoßen wurde, sondern, daß es fest an den Kopal angezogen wurde und daran hängen blieb. Er schloß daraus, daß es zwei Arten der Elektrizität geben müsse, und der Kopal anders elektrisch sei wie die Glasröhre. Die beiden Sätze, in denen sich diese Entdeckungen zusammenfassen lassen, gibt Fischer[1]) an; wir wollen sie so aussprechen:

1) elektrische Körper ziehen die nicht elektrischen an und stoßen dieselben, nachdem sie durch ihre Berührung elektrisch geworden sind, wieder ab, und

2) es giebt zwei entgegengesetzte Elektrizitäten, die glashafte (electricité vitrée) und die harzige (electricité resineuse). Die erste findet sich im Glase, den natürlichen Krystallen, den Edelsteinen, den Haaren der Tiere, der Wolle etc., die andere im Harz, Siegellack etc. Die gleichartigen Elektrizitäten stoßen sich ab, die ungleichartigen ziehen sich an.

Heutzutage überzeugt man sich am besten von dem zweiten Satz, indem man zwei Glasstangen reibt, von denen die eine nach Art einer Magnetnadel drehbar aufgehängt ist, dann erfolgt bei Annäherung der zweiten Abstoßung, desgleichen, wenn man den Versuch mit zwei Hartgummistangen macht, dagegen Anziehung, wenn die eine Stange Glas, die andere Hartgummi ist.

14. Diese Entdeckung ist fundamental für die ganze Elektrizitätslehre bis auf den heutigen Tag. Die Zeitgenossen nahmen jedoch die Entdeckung sehr skeptisch auf, und wenn sie sich den beobachteten Thatsachen auch nicht widersetzen konnten, so suchten sie die Erscheinung doch zu erklären durch die verschiedene Stärke der Elektrizität. Glas sollte stark, Harz schwach elektrisch sein. Auch Franklin stand unter dem Banne dieser Auffassung und konnte daher eine genügende Theorie nicht schaffen. Wir sind nun heutzutage wohl alle der Meinung, daß es nur eine Elektrizität giebt, daß wir es nur mit verschiedenen Modifikationen zu thun haben, welcher Gestalt die aber sind, ist noch keinem gelungen einwurfsfrei darzulegen. Wir werden also gut thun, bei der Du Fayschen

1) Fischer, Geschichte d. Physik V, pag. 455.

Unterscheidung stehen zu bleiben und Glas- und Harzelektrizität zu unterscheiden.

15. Kehren wir zunächst nach England zurück, so finden wir nach Grays Tode eine ganze Reihe Gelehrter mit der Frage beschäftigt, ob sich die Rotationen der Planeten nicht durch elektrische Kräfte erklären ließen, man stellte eine Reihe Rotationsversuche an, gelangte aber natürlich nicht zu einem befriedigenden Resultate. Auch die zahlreichen Untersuchungen Desaguliers, eines Sohnes von einem exilierten französischen Geistlichen, Mitgliedes der Royal Society, geb. 1683 zu La Rochelle, gest. 1744 als Hofprediger des Prinzen von Wales zu London, haben wesentlich Neues nicht zu Tage gefördert, nur daß von ihm die Bezeichnung Leiter = Konduktoren und elektrische oder für sich elektrische Körper herrührt, ist erwähnenswert.

16. Zu derselben Zeit hatte man in Deutschland angefangen, sich dem Studium der Elektrizität mehr zuzuwenden, und hier sind die nächsten Fortschritte gemacht, die zu den bedeutendsten der ganzen Epoche gehören. Wie schon erwähnt, hatte Hawksbee zur Erzeugung großer Mengen von Elektrizität Glaskugeln angewandt, die er mit der Hand, in welcher ein wollener Lappen lag, rieb. Man kehrte aber wieder zu den Glasröhren zurück, da diese bequemer mit der Hand zu reiben waren. Das schien einem Zuhörer des Professors Hausen in Leipzig (geb. 1693, † 1743) Litzendorf mit Namen, recht beschwerlich und er schlug seinem Professor deswegen die alte, schon von Guericke angewandte Methode vor, eine Kugel auf eine Achse zu stellen, welche durch einen Dreher gedreht werden konnte. Hausen veröffentlichte eine auf diesem Prinzip beruhende Maschine im Jahre 1743. Als Reibzeug fungierte nach wie vor die Hand, sie unterschied sich also von der v. Guerickeschen lediglich dadurch, daß jener Schwefel, dieser Glas anwandte.

Ein anderer deutscher Professor der Physik, Matthias Bose in Wittenberg, geb. 1710 zu Leipzig, seit 1738 Professor in Wittenberg, gest. 1761 zu Magdeburg, wohin er von den Preußen als Geißel geschleppt war, nachdem man ihn 1760 aller seiner Habseligkeiten beraubt hatte, fügte der Maschine

ein sehr wichtiges Stück hinzu, den sogenannten Konduktor, welchen er aus einer Eisenblechröhre konstruierte, den anfangs ein auf einen Pechkasten gestellter Mensch hielt, der dann aber an seidenen Schnüren aufgehangen wurde. Dieser Blechkonduktor war an der der Maschine zugewandten Seite hohl, um ein Bündel Fäden aufzunehmen, die die gedrehte Glaskugel nahezu berührten. Es vertraten da also die Fäden die scharfen Spitzen, welche wir an den Konduktoren unserer Maschinen anzubringen pflegen. Mit einer solchen Maschine war Bose imstande, äußerst starke Funken zu erzeugen, die die Kraft hatten, Pulver zu entzünden und Menschen umzuwerfen, wenn sie vom Kopf zu den Füßen hin durch den Körper gingen. Freilich beruhten manche seiner Entdeckungen auf Täuschung, er war da in derselben Lage, wie fast alle seine Zeitgenossen, die in einem gewissen elektrischen Fieber, alles mögliche durch die Elektrizität bewirkt zu haben glaubten.

17. Eine weitere, wenn auch kleine Verbesserung erfuhr die Elektrisiermaschine durch den Schotten Gordon, welcher Professor an der Klosterschule zu Erfurt war; geb. 1712, kam er schon 1724 nach Deutschland und starb in kräftigem Mannesalter 1751 zu Erfurt. Er setzte an die Stelle der geriebenen Glaskugel einen Glascylinder und erreichte damit sehr starke Schläge, er erfand die noch heute in allen physikalischen Apparatensammlungen vorhandenen elektrischen Glockenspiele, wo eine oder mehrere Kugeln an isolierenden Seidenfäden aufgehängt sind, zwischen isolierten Glocken; teilt man einer Glocke eine Elektrizitätsart mit, so influenziert sie auf die Kugeln und zieht dieselben an; haben diese nun durch die Berührung die gleiche Elektrizität der anziehenden Glocke erhalten, so werden sie wieder abgestoßen und fliegen gegen die gegenüberstehenden Glocken, diesen Elektrizität mitteilend, so daß sie selbst nur wenig behalten, welche durch die neue Influenz von seiten der ersten wieder aufgehoben wird. Einen anderen wichtigeren Apparat erfand Gordon in seinem elektrischen „Flugrade“, er konstruierte sich einen Stern, der, in seiner Mitte durch eine feine Spitze unterstützt, sich in horizontaler Ebene bewegen kann um jene Spitze als Achse. Die auslaufenden Spitzen des Sterns waren etwas rückwärts gebogen; brachte Gordon diesen

Apparat nun in die Nähe seiner Maschine, so setzte sich das Rädchen sofort in Rotation in demselben Sinne, wie sich die Turbine bewegt. Noch heute dient das Flugrad als drastisches Beispiel für die Spitzenwirkung. Die Maschine wirkt influenzierend auf das Rad, die erzeugte Elektrizität strömt nun aus den Spitzen aus und wirkt auf das Rad wie ein ausströmender Wasserstrahl aus einer Turbine, d. h. sie setzt das Rad in Bewegung in dem dem Ausströmen der Elektrizität entgegengesetzten Sinne. Doch kehren wir zur Elektrisiermaschine zurück; es fehlte derselben noch immer das Reibzeug, alle hatten noch mit der Hand gerieben. Diese Verbesserung verdanken wir dem um die Elektrizität überhaupt hoch verdienten Winkler.

18. Johann Heinrich Winkler war 1703 in der Oberlausitz geboren und studierte in Leipzig Philologie und Philosophie, seit 1730 Lehrer an der Thomasschule daselbst, dann 1739 zum Professor der Philosophie an der Universität berufen, vertauschte er 1742 das Extraordinariat der Philosophie mit dem Ordinariat für lateinische und griechische Sprache, um endlich 1750 in sein eigentlichstes Element zu kommen, als Professor der Physik; er starb 1770 zu Leipzig. Zunächst verbesserte er die Elektrisiermaschine, indem er statt der Hand das Reibkissen einführte, ein mit Pferdehaaren gestopftes Lederkissen, welches cylinderförmig gebogen war, damit die zu reibenden Glascylinder eine möglichst große Reibefläche böten. Winkler hatte sich die Sache bereits ganz ausgedacht, als der Mechaniker, welcher die Maschine bauen sollte, Johann Friedrich Giessing, ihn mit einer fertigen Maschine mit Reibzeug überraschte.[1]) Es war freilich noch unbequem, daß der Druck des Kissens gegen den Glascylinder durch eine Schraube bewerkstelligt wurde und deswegen je nach den Unregelmäßigkeiten des Glascylinders verschieden stark war. Erst etwas später kam Winkler auf den Gedanken, das Reibzeug durch eine leichte Feder gegen den Cylinder drücken zu lassen, was bekanntlich noch heute bei den Maschinen Gebrauch

1) Gedanken von den Eigenschaften etc. der Elektrizität von Joh. H. Winkler 1744, pag. 12.

ist. **Winklers** Verdienste sind gar mannigfach, wir finden sie zunächst in drei elektrischen Schriften vom Jahre 1744—46. In diesen Schriften beschäftigt sich Winkler nicht nur mit rein technischen Fragen, sondern auch mit theoretischen Erörterungen über das Wesen der Elektrizität, die er aber stets bemüht ist, durch eine Reihe von Versuchen zu erhärten. Da er diese sehr behutsame Art des Vorgehens befolgt, gerät er auch nicht auf solche Irrwege, wie Viele vor ihm.

19. Er konstatiert, daß die Elektrizität weder etwas materiell zum Körper Gehöriges sei, noch auch ein durch Reiben erzeugter Zustand der materiellen Teilchen desselben, sondern die Elektricität durchsetze die Körper, und es unterscheide sich der Leiter von dem Nichtleiter dadurch, daß bei diesem durch das Reiben der Zusammenhang der Körpermoleküle und der kleinsten Elektrizitätsteilchen aufgehoben werde, und gewissermaßen eine Verdunstung der Elektrizität eintrete, so daß der geriebene Körper sich mit einer elektrischen Atmosphäre umhülle; während jener so feine Verteilung der elektrischen Teilchen und dadurch ein so festes Zusammenhalten zwischen den kleinsten Körperteilchen und Elektrizitätsteilchen habe, daß durch Reiben eine Trennung und Ansammlung auf der Oberfläche nicht möglich sei, sondern erst, wenn in Bewegung begriffene Teilchen der elektrischen Flüssigkeit sie selbst träfen, können sie ihre Verbindung mit den Körpermolekülen der Leiter lösen und sich auf die Oberfläche begeben. Er wirft auch die Frage auf, ob die Elektrizität als elastisch zu denken sei und meint, die bisherigen Versuche ließen das noch unerledigt: Er denkt sich die Elektrizität also analog wie den Lichtäther. Natürlich verbindet er, wie alle seine Zeitgenossen, mit der Elektrizität auch Feuerteilchen. Damals war Feuer bekanntlich noch ein Körper, Phlogiston, und eine Flamme war ohne diesen nicht möglich. Nun hatte aber bei Eröffnung der Akademie der Wissenschaften in Berlin im Anfang 1744 Dr. **Christian Friedrich Ludolf** Schwefeläther mit dem elektrischen Funken entzündet, und **Winkler** hatte sich sofort daran gemacht, diesen Versuch zu wiederholen und zu modifizieren, so hatte er schon im Mai zur Freude seiner Zuhörer in einer Gesellschaft aus seinem

eigenen Körper Funken gezogen, womit er imstande war, Schwefeläther, Kampferspiritus, Weingeist und quinta essentia vegetabilis[1]) anzuzünden.[2]) Daher behauptet er und seine Zeitgenossen, Franklin nicht ausgeschlossen, daß in der Elektrizität auch Feuerteilchen vorhanden seien.

20. In den Experimenten über das Entzünden durch einen elektrischen Funken war Winkler sehr glücklich, er entzündete sogar Pech, Siegellack, Öl etc., überhaupt alle brennbaren Flüssigkeiten, nachdem er sie vorher erwärmt hatte. Aller Orten bemühte man sich, diese Untersuchungen zu wiederholen, und dem Danziger Bürgermeister Gralath gelang es sogar, ein eben ausgeblasenes Licht durch den elektrischen Funken wieder zu entzünden.[3]) Dieser Gralath hat sich durch manche elektrische Versuche berühmt gemacht, am meisten durch seine Geschichte der Elektrizität von 1747—1756.

Poggendorff sagt von ihm, er sei 1739 geboren und 1809 gestorben, das ist selbstverständlich unmöglich, da Graladhs erste Entdeckung bereits in das Jahr 1744 fällt und er 1745 im Briefwechsel mit Herrn v. Kleist, Watson und anderen Gelehrten steht.[4])

---

1) Der Güte des Herrn Direktor Dr. Wiebel vom hiesigen chemischen Staatslaboratorium verdanke ich die Angabe, daß nach Analogie der in Kopps Geschichte der Chemie IV, p. 274 erwähnten quinta essentia des Raymundus Lullus auch hier konzentrierter, rektifizierter Weingeist zu verstehen sei unter quinta essentia vegetabilis.

2) Gedanken von der Elektrizität. Leipzig 1744, pag. 58 ff.

3) Gralath, Geschichte der Elektrizität, II, pag. 438.

4) Da sowohl in Poggendorffs „Biographischem Handwörterbuch“, wie auch in seiner Geschichte sich diese unmöglichen Angaben über Gralaths Leben finden, ist in den Büchern, welche historische Notizen enthalten, soweit mir bekannt ist, dieser Fehler fortwährend gedankenlos nachgedruckt. Ich wandte mich, um Aufschluß über Gralath zu bekommen, an Herrn Dr. Schumann in Danzig, und verdanke diesem Herrn die Notizen, welche meine Vermutung bestätigten, daß nämlich der von Poggendorff nach Meusel: „Das gelehrte Teutschland oder Lexicon der jetzt lebenden teutschen Schriftsteller 1796—1834“ aufgeführte Gralath der Sohn des Physikers ist, der selbst als Litterat und Sprachforscher, aber niemals in physikalischen Fragen thätig gewesen ist. Der Daniel Gralath, mit welchem wir es zu thun haben, also der Vater des Poggendorffschen, ist am 30. Mai 1708 in Danzig geboren

21. In diese Zeit fällt eine der wichtigsten Entdeckungen des vorigen Jahrhunderts, die später für die Theorie so wertvolle Verstärkungsflasche, oder, wie man sie fälschlich nennt, die Leydener Flasche. Ihr wahrer Erfinder ist ein Deutscher. Am 11. Oktober 1745 machte der Dekan und residierende Prälat von Kleist zu Camin in Pommern folgenden Versuch. In ein Medizingläschen steckte er einen eisernen Nagel, hielt das Fläschchen mit der Hand an den Konduktor der Elektrisiermaschine und empfand nach der Entfernung vom Konduktor, beim Berühren des Nagels mit der anderen Hand einen heftigen Schlag, sobald er in die Flasche etwas Quecksilber oder Weingeist that, erhöhte er die Wirkung. Am 4. November desselben Jahres berichtete er an Herrn Dr. Lieberkühn in Berlin, am 19. Dezember Herrn Professor Krüger in Halle und am 28. Dezember Herrn Archidiakonus Swietlicki in Danzig über diese Versuche.[1]) Lieberkühn stattete der Akademie Bericht darüber ab, und Krüger druckte dieselben in seinem Werke: Ge-

---

und am 23. Juli 1767 daselbst gestorben nach Srusa: „Rede zur Feier des fünfzigjährigen Stiftungsgedächtnistages der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig.“ Daniel Gralath war anfangs Gerichtsherr der rechten Stadt, später Bürgermeister von Danzig, von ihm ging die Idee zur Gründung der „Naturforschenden Gesellschaft“ aus, welche am 2. Januar 1743 ihre erste Sitzung hielt und mit großen Mitteln ausgestattet gewesen sein muß, so schaffte sich dieselbe sofort eine Luftpumpe für 1400 Gulden an. Als hervorragende Mitglieder dieser Gesellschaft sind noch besonders zu nennen: der Schwiegervater Graläths, Stadtsekretär J. Th. Klein, bekannt als Naturhistoriker, und der etwas weiter unten von mir genannte Pastor Swietlicki; im ganzen waren es neun Herren, von denen nur zwei eigentlich Mathematik und Physik als Fach studierten. Die Gesellschaft ist sehr thätig gewesen, besonders war es ihr Direktor Gralath, welcher in den ersten drei Bänden der Abhandlungen der Gesellschaft von 1747 bis 1756 längere Arbeiten veröffentlichte, in erster Reihe seine „Geschichte der Elektrizität“, welche ich häufiger citiere, Theil I befindet sich im ersten Bande pag. 175—304, Theil II in Band II pag. 355—460, Theil III in Band III pag. 492—556. Nach Graläths Tode erschienen nur noch sporadisch Lebenszeichen der Gesellschaft im Jahre 1778 und dann wieder 1820.

1) Die elektrische Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen, von Winkler. Leipzig 1746, pag. 3, wo der Name Schwidlitzky geschrieben wird; die richtige Schreibweise habe ich aus den „Versuchen und Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Danzig“ Band II.

schichte der Erde[1]) ab. Am 10. April 1746 teilt Gralath aus Danzig mit, daß ihm am 5. März des Jahres der Versuch ebenfalls gelungen, während die anderen denselben nicht hatten nachmachen können, da Kleist nicht angegeben, daß er bei der Berührung des Nagels mit dem Finger die Flasche in der Hand behalten hatte. Gralath und Winkler waren es, die diese Entdeckung vervollkommneten.

22. Gralath nahm eine große Wasserflasche, füllte sie zur Hälfte mit Wasser und ließ einen starken eisernen Draht, mit einer Kugel oben versehen, aus der Flasche herausragen; gab er die Flasche nun einer Person in die Hand und ließ sie mit dem Knopfe an den Konduktor halten, dann 20 Personen eine Kette bilden durch Anfassen der Hände und die letzte Person den vom Konduktor entfernten Knopf der Flasche berühren, so erhielten alle 20 einen ebenso starken Schlag, wie vorher die eine Person. Personen, die aber nur den Knopf der Flasche oder nur die äußere Seite derselben berührten, erhielten keine Erschütterung; dadurch stellte Gralath die notwendige Bedingung auf, damit das Experiment gelinge, und zeigte, daß es nichts weiter sei, wie die Vereinigung der an den verschiedenen Seiten des Glases befindlichen Elektrizität, welche diesen Schlag bewirke. Das bewies er auch durch die Beobachtung, daß der Versuch mißlingt, wenn die Flasche da, wo sie außen berührt wird, einen, wenn auch noch so kleinen Riß hat. Ein wesentliches Verdienst Gralaths ist, die elektrische Batterie erfunden zu haben[2]); er nahm mehrere Destillierkolben, welche er einzeln zurüstete wie jene Glasflasche, dann aber die herausragenden Metallknöpfe gleichzeitig mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine verband und nun die äußeren Oberflächen der Flaschen durch seinen Körper mit dem Knopfe der in die Flaschen führenden Drähte in Berührung brachte. Auf diese Weise empfing er einen bedeutend stärkeren Schlag.

Die ausführlichsten Versuche stellte jedoch Winkler an,

---

1) Krüger, Geschichte der Erde. Halle 1746, pag. 177.

2) Versuche und Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Danzig. I, pag. 442.

er hatte so große Flaschen angewandt und sie so intensiv geladen, daß er den Schlag sehr schmerzhaft fühlte; mehrere Tage fühlte er sich angegriffen und litt infolge dessen an Nasenbluten, was ihm sonst fremd gewesen war, besonders in den Gelenken war eine derartige Erschütterung eingetreten, daß er acht Tage lang nicht hatte schreiben können; fast noch angegriffener war seine Frau von solchen Erschütterungen, sie hatte mehrere Tage im Bette zubringen müssen. Um diese heftigen Entladungen zu vermeiden, stellte Winkler seine Flaschen auf eine Metallplatte und legte um dieselbe eine Kette, welche in einem Knaufe endigte; brachte er diesen nun dem Kopfe der aus dem Inneren herausragenden Drähte nahe, so zeigte sich hier der elektrische Funken und der Knall der Entladung war in einer Entfernung von 100 Schritten hörbar. Nun bemerkte er, daß es nicht nötig sei, die Flasche außen zu berühren, daß eine Verbindung der Kette mit dem Metallteller hinreiche, diese Entladung herbeizuführen. Um diese Verbindung bequemer herstellen zu können, kam Winkler auf den Gedanken, die Flasche auch äußerlich mit Wasser zu umgeben; er hing deswegen am 28. Juli 1746 drei große, mit Wasser gefüllte Flaschen, in deren Inneres ein Metalldraht führte, in die Pleiße und umgab die äußere Belegung mit einer Kette, die in einem Knopfe am nahen Ufer endete; nun verband er die inneren Drähte mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine, und fand, nachdem er diese Verbindung aufgehoben, einen so heftigen Schlag bei Entladung der Flasche, daß der Funken am hellen Tage 200 Schritt weit zu sehen und noch weiter zu hören war. Dasselbe fand statt, wenn er jene Kette in größerer Entfernung von den Flaschen in die Pleiße hängen ließ. Er merkte auch, worauf es bei der Wirksamkeit der Flaschen hauptsächlich ankommt, nämlich darauf, dass innen und außen an der Flasche die Leiter der Elektrizität möglichst nahe an das Glas gebracht werden und dieses möglichst vollständig bedecken, doch selbst von einander getrennt bleiben; deswegen behielt er für die innere Fläche Wasser als Leiter bei, für die äußere aber wandte er zuerst eine unvollständige Metallbelegung an. Eine vollständige Theorie der Kleistschen Flasche hat er ebensowenig, wie seine Zeitgenossen, die lieferte

annähernd richtig erst Franklin, vollständig die Deutschen Wilke und Aepinus.

23. Für den Augenblick wollen wir Winkler verlassen, um uns den gleichzeitigen Arbeiten in Frankreich und England zuzuwenden, jedoch werden wir unseren Landsmann in der Franklinschen Epoche noch einmal wiederfinden. Während, wie auf den vorstehenden Seiten gezeigt ist, in Deutschland die Elektrizitätslehre wesentlich gefördert und mit neuen Erfindungen bereichert wurde, rührte sich auch in England und Frankreich ein frisches Leben. Der Impuls hierzu ging aus von Holland.

Die Universität Leyden war es, wo der durch die Anzahl seiner Schriften und die Vielseitigkeit seiner Bildung mehr als durch die Grösse seiner Erfindungen bekannte Physiker Pieter van Musschenbroek den Lehrstuhl der Mathematik und Physik inne hatte, geb. 1692 zu Leyden, gest. daselbst 1761. Musschenbroek hatte bemerkt, daß elektrisierte Körper, wenn sie sich in Luft befanden, gar bald ihre Elektrizität wieder verloren; das hoffte er zu verhindern, wenn er dieselben mit einem nichtleitenden schützenden Mantel umhüllte, und um das zu bewerkstelligen, elektrisierte er Wasser in einer Glasflasche, doch wollte es ihm nicht gelingen, etwas Neues damit zu entdecken, bis zufällig ein anwesender Privatmann, Cunaeus aus Leyden, die Flasche in der Hand hielt und mit der anderen den Draht, mittels dessen das Wasser elektrisiert war, berührte; selbstverständlich erhielt er gerade so den elektrischen Schlag, wie Kleist wenige Monate früher. Musschenbroek wiederholte das Experiment und hatte dabei solche böse Empfindung, daß er in dem an Réaumur zu Paris gerichteten Briefe (Anfang 1746), worin er zum erstenmale diesen Versuch mitteilt, meint, nicht für die Krone Frankreichs wolle er sich solcher Wirkung wieder aussetzen.[1]) In demselben Sinne äußert sich ein Kollege Musschenbroeks, Allamand, Professor der Philosophie zu Leyden, geb. 1713, gest. 1787, in einem Briefe an Nollet zu Paris und veröffentlichte den Versuch in den Mémoires der Akademie zu Paris 1746.

---

1) Fischer, Geschichte der Physik. V, pag. 492.

Dieser Abt Nollet war wohl die bekannteste Person jener Zeit in gelehrten Kreisen, was er hauptsächlich seiner ausgebreitetsten Korrespondenz verdankte; geboren 1700 zu Pimpré, Diözese Noyon, arbeitete er bei Réaumur, reiste 1734 nach England, wurde 1742 Mitglied der Akademie und machte später Reisen in Italien; er starb zu Paris 1770 als Pensionär der Akademie der Wissenschaften; außer sechs größeren Büchern schrieb er eine große Anzahl kleinerer Abhandlungen, die fast alle in den Mémoiren veröffentlicht sind. Da Nollet von Musschenbroek als ersten Erfinder nur wußte, schrieb er diesem die Erfindung unbedenklich zu und nannte sie nach seinem Namen, der freilich nach dem Bericht Allamands fallen gelassen wurde, da ja Cunaeus in Leyden der Erfinder war, jedoch nannte Nollet den Versuch nun den Leydenschen und die Flaschen die Leydener. Was war natürlicher, als daß die gebildete Welt diesen vom berühmten Nollet gegebenen Namen acceptierte und des unbekannten Caminer Domherrn v. Kleist nicht achtete. Selbst in Deutschland bürgerte sich der Name ein, obgleich Winkler ausführlich die Autorschaft des v. Kleist nachwies. Die Versuche, welche in Paris nun mit der Leydener Flasche angestellt wurden, waren denen analog, die immer einige Zeit früher in Deutschland von Gralath und Winkler gemacht waren.

Besonders der Arzt Louis Guillaume Le Monnier wandte sich dem Studium der Elektrizität zu[1]) und drückte die Resultate, welche denen Winklers und Graläths äquivalent sind, klarer und faßlicher aus, wie das ja im ganzen vorigen Jahrhundert der unbestrittene Vorzug der französischen Schriftsteller war. Poggendorff faßt sie in folgende Sätze zusammen[2]): 1) daß die Flasche nicht geladen werden könne, wenn sie auf einem trocknen Glase stehe, oder an seidenen Schnüren hängt, also isoliert ist, daß sie aber sogleich Ladung annehme, sobald man sie außen ableitend berührt;

2) daß, wenn man bei einer geladenen Flasche, die isoliert ist, bloß den inneren Draht anfaßt, man keinen Schlag bekommt,

1) Mémoires de l'Academie des sciences de Paris. 1746.

2) Poggendorff, Geschichte der Physik, pag. 856.

daß man den Draht herausnehmen, dann die Flasche gar in die Tasche stecken kann, ohne dafür bestraft zu werden, daß man aber sogleich wieder einen Schlag erhält, wenn man den Draht hineinsteckt und ihn zugleich mit der Außenseite der Flasche berührt;

3) daß, wenn man bei einer geladenen und isolierten Flasche den inneren Draht mit der Hand berührt, die Außenseite der Flasche elektrisch wird und leichte Körper anzieht;

4) daß eine geladene Flasche stundenlang ihre Kraft behält, und weit in der Hand umhergetragen werden kann.

24. Auch fand Le Monnier, wie Winkler, das Wasser sehr gut leitend, indem er eine solche Flasche durch den Teich des Tuilerien-Gartens hindurch entlud; ebenso hatte Winkler schon gefunden, daß die Elektrizität sich nur über den besseren Leiter verbreitet, wenn sie die Wahl zwischen mehreren hat; das hatte Winkler nachgewiesen, indem er sich mit einem anderen Menschen durch eine Kette verband und die Entladung einer Kleistschen Flasche durch die beiden Personen und die Kette bewerkstelligte, indem er die Flasche hielt, der andere aber den Draht berührte; wenn jetzt neben der Kette noch eine Verbindung durch sich anfassende Personen hergestellt wurde, so empfanden alle zwischenstehenden Leute keinen Schlag. Le Monnier zeigte dasselbe, indem er einen Eisendraht von 2000 Toisen Länge auf der Erde ausbreitete und so die Flasche durch den Draht entlud. Bei der Gelegenheit wollte Le Monnier auch die Geschwindigkeit der Elektrizität messen, es gelang ihm aber nicht, da die Entladung durch einen 950 Toisen langen Draht weniger als $^1/_4$ Sekunde erforderte. Le Monnier wiederholte auch Versuche über den Sitz der Elektrizität bei Leitern, wie sie vor ihm von Gray angestellt waren, er fand dasselbe Resultat, sprach es aber richtig aus, indem er lehrte, daß die Menge der Elektrizität, welche ein Körper aufnehmen könne, nur von der Größe seiner Oberfläche abhänge, und daß bei Körpern von gleich großer Oberfläche der langgestreckte mehr Elektrizität aufzunehmen imstande sei, wie der kurze dicke, den richtigen Schluß auf die Spitzenwirkung zog er aber nicht. Seine Untersuchungen finden sich in zwei Abhandlungen aus den Jahren 1746 und 1747.

25. Nicht viel besser ging es in bezug auf die Geschwindigkeitsmessung der Elektrizität dem Engländer Watson, welcher Le Monniers Versuche wiederholen wollte. William Watson war 1715 in London geboren, lebte dort als Apotheker und Arzt und wurde Direktor des Brittischen Museums, starb zu London 1787. Watson leitete die Elektrizität durch einen vier Meilen langen Schließungsbogen, aber mit demselben Erfolg wie Le Monnier, nur daß er behauptet, er habe die Entladung nicht instantan gefunden, aber die Geschwindigkeit sei zu groß, als daß er sie hätte messen können. Daneben beschäftigte sich Watson viel mit der Konstruktion der Kleistschen Flaschen.

Er fand, daß die Stärke des Schlages nicht im Verhältnis des spezifischen Gewichtes zunahm, wenn Quecksilber statt Wasser in die Flasche geschüttet wurde, wohl aber von der Größe der Fläche, welche innen und außen berührt wurde, abhing; offenbar war es nun ein Leichtes, auf die Belegung der Flasche mit Zinnfolie zu kommen, weil darin die größtmögliche Fläche geboten wurde. Zunächst war diese Belegung nur eine äußere und wurde zuerst von einem Dr. Bevis ausgeführt, während Watson selbst auch die innere Seite der Flasche mit Zinnfolie überzog und auf diese Weise eine Flasche herstellte, wie sie noch heute gebraucht wird.

Von Engländern sind zunächst noch zwei Namen zu erwähnen, der Mechanikus Smeaton 1724 bis 1792 in Austhorpe bei Leeds, der als Erfinder der nach Franklin genannten Tafel sich auch in der Elektrizitätslehre einen Namen machte, er wandte statt der Flaschen eine Glasscheibe an, die er auf beiden Seiten mit Zinnfolie überzog[1]; und als zweiter der Maler Wilson, von 1708 bis 1788 zu London, welcher am 6. Oktober 1746 an Smeaton schrieb, daß er das wahre Gesetz der Ansammlung der Elektrizität in der Leydener Flasche gefunden habe. Die Menge der Elektrizität ist direkt proportional der Oberfläche des leitenden Körpers und umgekehrt der Dicke des Glases. Als Wilson diesen Ausspruch fand, arbeitete er noch mit Flaschen, in denen sich Wasser befand; später wandte er

1) Priestley, Geschichte d. Elektrizität, pag. 62.

auch die Watsonschen Flaschen an, dann ist die Menge der Elektrizität direkt proportional der Größe der Belegung. Erst Cavendish hat 1776 [1]) diesen Satz streng als richtig bewiesen. Danach würde man also je dünner das Glas, desto größere Elektrizitätsanhäufung haben, allein das hat seine Grenze, weil bei zu großer Anhäufung das Glas durchbrochen wird, doch ist auch die chemische Konstitution des Glases dabei wesentlich maßgebend. Musschenbroek schon hatte deutsches oder böhmisches Glas verlangt und gewarnt vor holländischem, noch mehr vor englischem. Später fand Wilke, mit dem wir uns noch ausführlicher beschäftigen werden, daß grünes Glas größere Ladung ermögliche wie gleich dickes weisses. [2])

26. Man hat Wilson oder auch Gralath die Entdeckung des „elektrischen Rückstandes" zugeschrieben [3]), der sich darin zeigt, daß man eine Flasche entladen kann, so daß sie scheinbar gar keine Elektrizität mehr besitzt, und daß dann nach geraumer Zeit wieder eine kräftige Entladung mit Funken und Knall möglich ist und das viele Male hintereinander. Man findet oft nach einem halben Jahre, wenn die entladene Flasche an einem trocknen, möglichst gleichmäßig warmen Orte hingestellt wird, noch kräftige Entladung. Die Theorie dieses Rückstandes werden wir erst bei Faraday besprechen. Allein Winkler hat, wenn nicht früher, so doch mindestens gleichzeitig dieselbe Entdeckung gemacht, nämlich vor dem 16. August 1746 in Apels Garten in Leipzig. [4])

27. Wenn ich endlich noch hinzufüge, daß um diese Zeit auch die erste chemische Wirkung der Elektrizität gefunden wurde, und zwar von dem schon erwähnten Krüger in Halle, indem er nämlich beobachtete, wie die Blätter des roten Mohn an den von dem elektrischen Funken getroffenen Stellen entfärbt wurden, daß ferner Nollet den ersten Versuch machte, die Elektrizität an einer Art Fadenelektroskop durch Divergenz zweier Hanffäden bei Annäherung eines elektrisierten Körpers

---

1) Phil. Transact. 1776, pag. 196.

2) Abhandlungen der schwed. Akademie 1777.

3) Poggendorff, Geschichte, pag. 855 u. 860. — Fischer, Gesch. V, pag. 496 u. 509.

4) Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers, pag. 39.

nachzuweisen suchte, ein Elektroskop, welches von Waitz in Berlin dahin abgeändert wurde, daß an den Fäden kleine Metallplättchen befestigt wurden, während Ellicot und Gralath[1]) eine Wage vorschlagen, wo das auf der einen Seite aufgesetzte Gewicht zeigt, wie stark die andere Schale von dem darunter gehaltenen elektrisierten Körper angezogen wird, so habe ich wohl sämtliche Entdeckungen auf dem Gebiete der Elektrizität angeführt, die in dieser Zeitepoche grundlegend für den Weiterbau gewesen sind. Auf die Elektroskope komme ich später zurück.

28. Eine Frage läßt sich schwer beim Schlusse dieses Abschnittes zurückdrängen. Wie kommt es, daß die deutschen Erfindungen außerhalb Deutschlands, ja im eigenen Vaterlande, so wenig Beachtung fanden, daß sogar Nollet bis an sein Ende z. B. nur mit der Hand seine Elektrisiermaschine reiben konnte, daß der Name Leydener Flasche noch heute jedem Schulbuben bekannt ist, während er von Herrn v. Kleist nichts weiß. So gern ich auch anerkenne, daß die Unkenntnis der deutschen Sprache gegenüber der allgemeinen Verbreitung der französischen ein wesentliches Impediment war, so liegt der Hauptgrund doch tiefer. Die deutschen Gelehrten hatten ihre Versuche selbst teils gar nicht verstanden, wie z. B. Kleist noch im Mai 1746 fälschlich behauptete, eine Flasche auch laden zu können, wenn sie völlig isoliert sei, obwohl Gralath im April die Notwendigkeit der Ableitung der äußeren Fläche ausdrücklich betont hatte, teils viele Phantasieen mit dem Thatsächlichen vermischten. So wollte Winkler beobachtet haben, daß die Elektrizität imstande sei, Wohlgerüche z. B. von peruanischem Balsam durch Glas zu treiben, oder auf Leitungsdrähten mit sich fortzuleiten; eine Behauptung, die ihn in arge Verlegenheit gegenüber Watson und der Royal Society in London brachte, da jenen die Versuche durchaus nicht gelingen wollten, selbst als Winkler die von ihm gebrauchten Glaskolben nach England geschickt hatte. Solche seltsame Behauptungen machten die Engländer und Franzosen mißtrauisch, und daher kamen auch die wirklichen Entdeckungen der Deut-

1) Fischer, Geschichte etc. V, pag. 543.

schen jenseits des Kanals nicht zur Geltung. Dazu kommt, daß die deutschen Schriften jener Zeit etwas von dem Bombast und Phrasendreschen an sich haben, welches wir heute glücklicherweise nur noch sehr vereinzelt finden. Am schärfsten tritt dieser Unterschied hervor, wenn wir Franklins Arbeiten mit denen der Deutschen vergleichen. Ich habe kein Werk des vorigen Jahrhunderts gelesen, was so leicht und klar verständlich geschrieben ist, wie jene Briefe, die Franklin nach London sandte, wodurch er in wenigen Monaten weltbekannt wurde.

II. Das Zeitalter Franklins und Coulombs 1747—1789.

Erstes Kapitel.

Franklin und seine Zeitgenossen.

29. Mit Benjamin Franklin kann man einen neuen Zeitabschnitt in der Elektrizitätslehre beginnen; er charakterisiert sich durch Ausbildung einer vollständigen Elektrizitätstheorie und durch Experimente über Luftelektrizität, und schließt ab mit den wichtigen Untersuchungen Coulombs über die Wirkung und Verteilung der Elektrizität. Es gruppiert sich demnach der Stoff fast von selbst um die beiden Namen Franklin und Coulomb, die als Marksteine den Anfang und Schluß dieser Epoche bilden.

Benjamin Franklin war als Sohn eines Färbers und Lichtziehers am 17. Januar 1706 zu Governors-Island bei Boston geboren, wurde bei seinem Stiefbruder Buchdruckerlehrling, in welcher Stellung er zwölf Jahre verblieb, dann etablierte er sich in Philadelphia als Buchdrucker und Papierhändler. Wie Franklin dazu kam, sich mit elektrischen Versuchen zu beschäftigen, wissen wir nicht, vermutlich durch Lesen der Schriften von Watson und Ellicot; auch wissen wir nicht, wie er in Briefwechsel mit seinem Freunde Collinson in London gekommen ist. Jedenfalls hat dieser ihm zuerst einen Glascylinder zu elektrischen Versuchen mit Gebrauchsanweisung zugeschickt. Franklin bedankt sich für diese Sendung im ersten Briefe an

Collinson vom 28. März 1747 und sagt ihm, die Sendung sei nicht nutzlos gewesen. In der That hat sich wohl keiner seiner Zeitgenossen so intensiv mit diesen Fragen beschäftigt, wie er, der Laie, der nicht wissenschaftlich gebildete Buchdrucker. Von 1747 bis 1774 steht er in fortwährendem regen Gedankenaustausch mit den Mitgliedern der Royal Society, der er selbst seit 1756 angehörte. Seine Briefe über die Elektrizität vom 28. März 1747 bis zum 29. Juni 1755, fast alle an Peter Collinson gerichtet, sind in alle damaligen Kultursprachen übersetzt und haben ihm den höchsten Ruhm unter allen Gelehrten eingetragen. Seine Untersuchungen setzte er fort bis zum Jahre 1774, da beschäftigten ihn die Freiheitskämpfe seiner Landsleute derartig, daß zu wissenschaftlichen Untersuchungen keine Zeit blieb. Schon seit 1757 war er als Vertreter Pennsylvaniens in London für die Sache der Kolonieen thätig, was den Verlust der einträglichen Stelle als Generalpostmeister der Kolonieen 1767 zur Folge hatte. 1775 ging er wegen drohender Lebensgefahr von London zurück nach Amerika, kehrte aber 1776 nach Europa zurück, um in Paris für sein Vaterland zu arbeiten. Nachdem er mit für die Freiheit gefochten, hatte er die Freude, zu Versailles am 20. Januar 1783 die Friedenspräliminarien mit zu unterzeichnen, und die Unabhängigkeitserklärung der Vereinigten Staaten vollzogen zu sehen. Ehe er nach Amerika zurückkehrte, 1785, schloß er noch Freundschafts- und Handelsverträge mit Schweden und Preußen, wurde dann in Pennsylvanien zum Mitglied des obersten Exekutivkollegiums des Staates gewählt und bald nachher zum Präsidenten. 1788 trat er vom öffentlichen Leben zurück; er starb 1790 am 17. April, geehrt von allen Zeitgenossen.[1]) Der berühmte d'Alembert hatte ihn in Paris 1783 kurz vor seinem Tode noch mit folgendem Verse gefeiert: eripuit coelo fulmen, sceptrumque tyrannis; dem Himmel entriß er den Blitz, den Tyrannen das Zepter![2])

30. In dem ersten Briefe[3]) Franklins finden wir nichts

1) Die Notizen über Franklins Leben entnahm ich: Works of the late Dr. Benjamin Franklin etc. London 1793.

2) Helmes, das Wetter etc., pag. 125.

3) Ich citiere in bezug auf die Briefe nach der mir zu Gebote stehenden Ausgabe von Experiments and Observations on Electricity etc. London

Neues, er ist sehr kurz und enthält nur den Dank an Collinson für die Anregung zu elektrischen Versuchen, sowie die Ankündigung einiger neuer Versuche, wobei Franklin aber, wie auch in den folgenden stets, erwähnt, eigentlich wolle er dieselben gar nicht mitteilen, da auf dieser Seite des Ozeans ja so viele ausgezeichnete Physiker sich mit elektrischen Untersuchungen beschäftigten, daß er fürchte, während seine Briefe ankämen, seien dieselben Entdeckungen bereits in Europa gemacht. Im zweiten Briefe schon finden wir die Grundlage zu seiner Hypothese über die Natur der Elektrizität. Franklin wiederholt einen Versuch, den schon Watson gemacht hat, daß nämlich ein auf einem Isolierschemel stehender Mensch, welcher eine Glasstange reibt, und aus dieser so elektrisierten Stange den Funken selbst zieht, nachdem er den Funken erhalten, durchaus unelektrisch erscheint, daß aber ein zweiter Mensch, auf einem Isolierschemel gleichfalls stehend, nachdem er den Funken gezogen, jetzt elektrisch scheint. Hierfür hatte schon Watson sich bemüht eine Erklärung zu finden. Franklin sprach sie präzise aus[1]) und gestaltete daraus seine Hypothese.

Wilke[2]) giebt dieselbe in ihren Grundzügen in der Vorrede zu seiner Übersetzung der Briefe an: „Durch die ganze körperliche Natur ist eine sehr feine Materie verbreitet, welche den Grund und die Ursache aller elektrischen Erscheinungen enthält. Die Teile dieser feinen Materie, welche man nach Belieben Äther, Feuer, Licht u. a. m. benennen kann, stoßen sich unter einander ab. Sie werden aber von den Teilen der gemeinen Materie, aus welcher die Körper bestehen, stark angezogen. Enthält ein Teil körperlicher Materie so viel von dieser feinen elektrischen Materie, als er einnehmen kann, ohne daß dieselbe auf der Oberfläche gehäuft liegen bleibt, so ist er in Absicht auf die Elektrizität im natürlichen Zustande. Ein mehreres macht ihn positiv oder plus, weniger aber negativ

---

1769. (Die vierte Auflage dieses Buches, woraus gewöhnlich citiert wird, ist vom Jahre 1774.)

1) Experiments etc., pag. 8 ff.

2) Franklins Briefe von d. Elektr. Deutsch v. Wilke 1758. Vorrede **. Die Vorrede ist nicht paginiert, aber der zweite Bogen durch die zwei Sternchen angedeutet.

oder minus elektrisch. Alle elektrischen Erscheinungen entstehen durch den Übergang dieser Materie aus einem Körper in den andern und durch die proportionierte Verteilung."

Fügen wir diesen Worten noch einiges hinzu, so wird der Gedankengang Franklins klar sein. Die einfachste Art der Elektrizitätserregung war und ist das Reiben einer Glasröhre mit einem Reibzeug, Franklin verwandte dazu Bockleder; der Vorgang wird von Franklin so erklärt, daß die Elektrizität aus dem Reibzeug auf die Glasröhre geht, diese daher plus elektrisch jenes minus elektrisch ist; wir werden seine Bezeichnung + und — dafür ebenfalls verwenden. Damit das aber geschehen könne ist es nötig, folgende Hypothesen zu Hilfe zu nehmen. Die elektrische Materie, er nennt sie gewöhnlich „das elektrische Feuer", durchdringt die Metalle, dagegen durchdringt sie nicht das Glas und alle Nichtleiter, wird aber von diesen sehr stark angezogen, deswegen sammelt sich die Elektrizität auf der Oberfläche an, hier aber wird sie festgehalten, sodaß man an einer Glasstange im natürlichen Zustande keine Elektrizität bemerkt, ob sie gleich da ist.

Wenn nun die Glasröhre gerieben wird und dadurch etwas erwärmt, so dehnt sich die Oberfläche aus, ist also imstande eine größere Menge Elektrizität aufzunehmen, diese zieht sie an aus dem Reibzeug. Nach dem Reiben erkaltet die Glasstange wieder, die Oberfläche zieht sich zusammen und dadurch wird freie Elektrizität, nach Art einer Atmosphäre, auf der Oberfläche angehäuft. Hat der Reibende also isoliert gestanden, so wird er, wenn er durch Berührung der Glasstange mit dem Finger, die dort angehäufte nicht festgehaltene Elektrizität wieder in sich aufnimmt, genau wieder soviel zurückerhalten, wie er vorher abgab und daher unelektrisch erscheinen, wird aber ein anderer, der nicht selbst gerieben hatte, und auch isoliert steht, die Glasröhre berühren, so wird er jetzt das überschüssige Quantum von Elektrizität erhalten, da er als Leiter, und dies ist eine neue Hypothese, beliebig viel Elektrizität in sich aufnehmen kann, er wird daher positiv elektrisch erscheinen, während der Reibende negativ ist.

31. Auf diese Weise erklärte nun auch Franklin die Erscheinungen der Kleistschen Flasche. Zunächst konstatierte

er, daß die beiden Seiten der Flasche verschieden elektrisch seien, die eine +, die andere −. Er machte seine Versuche hauptsächlich an einer auf beiden Seiten mit Zinnfolie belegten Glastafel, die zuerst von Smeaton oder von Bevis [1]) angewandt wurde, die aber nach Franklin allgemein die Franklinsche Tafel genannt wird. Die Elektrizität ruht bei einer solchen Tafel zunächst auf beiden Seiten der Glastafel, sie wird vom Glase, welches undurchdringlich ist, angezogen. Nun übt aber die Elektrizität, wie Franklin voraussetzt, auf sich selbst eine Abstoßung aus; weshalb sie das thut, werden wir gleich sehen; deshalb wird, sobald ich der einen Seite der Tafel Elektrizität zuführe, die Abstoßung stärker, als daß das Glas auf der andern Seite die Elektrizität noch halten könnte, sie muß hier entweichen, und zwar ebensoviel, als auf der ersten Seite zugeführt ist. So bleibt die Menge der vorhandenen Elektrizität dieselbe, nur ist die Verteilung eine andere. Führt man also einer Leydener Flasche Elektrizität im Inneren zu, so ist die innere Oberfläche des Glases +, die äußere aber − elektrisch, sobald die Möglichkeit gegeben wird, daß hier die Elektrizität entweicht. Damit erklärt sich die schon erwähnte interessante Entdeckung Graläths, daß eine Flasche nicht geladen werden kann, wenn sie isoliert steht. Auf dieselbe Weise erklärt sich die Entdeckung Watsons und Wilsons, daß es nötig ist, um bei der Elektrisiermaschine einigermaßen starke Ladungen zu erhalten, den Konduktor ableitend zu berühren. Watson that das durch einen Metalldraht, den er von der Decke des Zimmers zum Konduktor führte. Watson meinte, der Draht leite die Elektrizität von der Decke auf den Konduktor. Franklin stellt die Sache richtig [2]), indem er zeigt, daß die Elektrizität vom Konduktor durch den Draht abgeleitet wird, und das Reibzeug negativ elektrisch ist. Wir leiten bekanntlich heute das Reibzeug zur Erde ab.

Sehr sinnreich sind die Versuche, welche Franklin anstellt,

1) Fischer, Geschichte der Physik. V. pag. 502; und Observations on Elect. pag. 29, wo in der Anmerkung Smeaton als Erfinder genannt wird, wie ich auch auf Seite 24 dieses Werkes angegeben habe, dieser Note folgend.

2) Observations on Elect. pag. 9.

um die Anziehung und Abstoßung elektrisierter Körper zu zeigen. Er hängt z. B. eine Korkkugel so auf an einem Seidenfaden, daß sie in der Mitte schwebt zwischen dem Knopf des Zuleitungsdrahtes zur inneren Belegung einer Leydener Flasche und dem Knopfe eines Drahtes, welcher um die äußere Belegung geschlungen ist. War die Flasche geladen, so pendelte die Kugel so lange zwischen den beiden Knöpfen hin und her, bis die völlige Entladung der Flasche herbeigeführt war. Zwei Kugeln, welche eine geriebene Glasstange berührt hatten, zeigten kräftige Abstoßung, daher sagt Franklin, die Elektrizität stößt sich ab. Wurde eine Kugel in die Nähe eines elektrisierten Körpers gebracht, so wurde sie angezogen, daher übt die Elektrizität auf die Materie eine Anziehung aus. Wenn nun aber eine Glasröhre mit zwei isolierten Reibzeugen gerieben ist, so daß also beide Elektrizität abgegeben haben, also — elektrisch sind, so stoßen dieselben einander auch ab. Wie ist das zu erklären? Franklin weiß sich zu helfen, da haben wir es mit von Elektrizität freier Materie zu thun, diese muß also einander abstoßen[1]); während wir durch das Newtonsche Gravitationsgesetz wissen, daß die Materie sich ja anzieht! Den Widersinn, der in dieser Behauptung liegt, sucht Aepinus, ein Anhänger Franklins, dadurch zu heben, daß er sagt[2]), wir haben es im gewöhnlichen Leben stets mit Körpern im natürlichen Zustande, d. h. mit Elektrizität versehenen zu thun, während hier die Körper als der Elektrizität beraubte gedacht sind. Doch löst das die Schwierigkeit nicht, da wir kein Experiment haben, um diese Behauptung zu unterstützen.

32. So einfach und elegant die Franklinsche Theorie auf den ersten Blick auch ist, so kompliziert wird sie, wenn man sich ernstlich an die Erklärung aller Erscheinungen macht. Das Bestechende liegt in der Annahme nur einer Elektrizität, aber die Schwierigkeiten, die diese Annahme bringt, sind doch so groß, daß die große Begeisterung, welche Franklin zuerst fand, bald schwinden mußte, und selbst eifrige Verfechter seiner

1) Observations on Elect. pag. 37.
2) [Ten]tamen theoriae Electricitatis et Magnetismi, Rostock 1759,

Theorie, wie Aepinus und Wilke kehrten in ihren späteren Jahren wieder zu der Du Fayschen Auffassung von zwei Elektrizitätsarten zurück, und wenn Poggendorff[1]) meint, kein Physiker würde heute, obwohl sie alle die dualistische Erklärungsweise gebrauchten, wenn man ihn aufs Gewissen fragte, schwören mögen, daß es wirklich zwei elektrische Flüssigkeiten gebe, so kann man wohl getrost sagen, daß es überhaupt schwer ist, auch nur die Existenz einer elektrischen Flüssigkeit zu beschwören. Wir würden gewiß froh sein, wenn es gelänge alle Erscheinungen durch Schwingungen zu erklären, wie es bei der Wärme und dem Licht gelungen ist. Für die heutige Welt sind dergleichen Wünsche und Bestrebungen aber reine Phantasien, und es ist nicht Aufgabe der Physik phantastischen Plänen nachzuhängen, sondern Experimente zu erklären. Dies letztere besorgt die Franklinsche Theorie nicht völlig, daher ist sie als unbewiesen und unwahrscheinlich zu erklären. Franklin selbst entzog sich dieser Betrachtung nicht und hat bereitwillig zur Begründung der dualistischen Theorie später Versuche angestellt, und das gereicht ihm zur höchsten Ehre.

Franklin wurde besonders wegen seiner vorzüglichen Experimente von allen Gelehrten zur Mitarbeit herangezogen. Daß er viele Erfolge erzielte, möge folgendes beweisen, was ich aus dem Schlusse des vierten Briefes zur Ergötzung derer, die alles durch Elektrizität bewirken wollen, hier wiedergebe: Franklin schreibt[2]) an Collinson: „Ein calecutischer Hahn soll zu unserem Gastmahle durch den elektrischen Schlag getötet werden und an dem elektrischen Bratenwender vor einem Feuer, das durch die Elektrizität angezündet ist, gebraten werden, wobei dann zugleich die Gesundheiten der berühmten Elektrizitätskenner in England, Holland, Frankreich und Deutschland aus elektrisierten Pokalen unter Abfeuerung der Kanonen von der elektrischen Batterie, sollen getrunken werden.“ Heutzutage würden wir höchstens noch hinzufügen, daß der Hahn durch die Elektrizität selbst gebraten werden solle und daß elektrisches Licht die Nacht zum Tage machen solle.

1) Poggendorff, Geschichte der Physik, pag. 884.
2) Observations on Elect. pag. 38.

33. Ein großes Verdienst hatte Franklin, daß er zuerst die Wirkung der Spitzen richtig erklärte. Die ersten Erfahrungen teilte er im zweiten Briefe vom 11. Juli 1747, die ausführlichen Untersuchungen im Briefe vom 29. Juli 1749 mit; dort findet sich auch Franklins Erklärung.[1]) Wenn die Elektrizität auf der Oberfläche einer Kugel sich befindet, so hat kein Teilchen derselben mehr Neigung wie ein anderes die Oberfläche zu verlassen, da die Anziehung der Materie auf die Elektrizität in den Richtungen der Radien liegen, also überall gleich groß sind. Ist an die Stelle der Kugel ein Würfel gesetzt, so wird an den Flächen, da die anziehende Unterlage breit ist und die Anziehung senkrecht auf dieselbe erfolgt, hier die Elekrizität fester gehalten werden, als an den Ecken, wo die Unterlage fehlt, welche anziehend wirken kann. Es wird daher aus Spitzen die Elektrizität ausströmen, da ja die Elektrizität auf sich abstoßend wirkt, je schärfer die Spitze, desto stärker die Abstoßung. Nicht nur so wirkt eine an einem elektrisierten Körper angebrachte Spitze, sondern auch umgekehrt wirkt eine Spitze ableitend, wenn sie einem Konduktor genähert wird. Franklin nahm eine Stecknadel in die Hand und kehrte die Spitze einem Konduktor zu, dann wurde derselbe entladen schon in einer Entfernung von einem Fuß, ließ er aber den Knopf zugewendet sein, so entlud sich der Konduktor nicht. Dies brachte ihn auf die äußerst sinnreiche Anwendung auf die atmosphärische und Gewitter-Elektrizität.

34. Franklin ist nicht der erste, welcher das Gewitter als eine elektrische Erscheinung ansprach. Schon Wall verglich Blitz und Donner mit dem Funken und dem Schlage der elektrischen Entladung. Präziser und ganz unmißverständlich drückte sich Winkler aus im Jahre 1746[2]) also früher als Franklin überhaupt einen Brief geschrieben hatte. Winkler stellt da im zehnten Kapitel die Frage: „Ob Schlag und Funken der verstärkten Elektrizität (in Kleistschen Flaschen) für eine Art des Donners und Blitzes zu halten sind?“ Nun führt er

1) Observations on Elect. pag. 59.

2) Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefäßen, Leipzig 1746, pag. 137 ff.

eine große Anzahl Ähnlichkeitspunkte an, zeigt, daß Blitz und Funken nur durch die Stärke nicht durch das Wesen verschieden sind, giebt an, daß die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche sehr wohl die Elektrizität der Wolken erzeugen könne, nämlich durch Reiben an den festen Teilchen bei der Verdunstung. In demselben Kapitel § 146 erwähnt Winkler auch die Analogie zwischen Elektrizität und Nordlicht und hält auch dieses für eine elektrische Erscheinung.

Die Hauptveranlassung, daß man das Nordlicht als eine elektrische Erscheinung ansprach, war das elektrische Leuchten in luftverdünnten Glasröhren, welches von dem sächsischen Hofmechanikus Gottfried Heinrich Grummert, geb. 1719 zu Biala in Polen, gest. nach 1776 zu Dresden, entdeckt wurde, er rieb eine luftleere Glasröhre und fand sie nun im Innern leuchtend, später wurden von Watson, Canton und Wilson[1]) diese Versuche mit viel Erfolg wiederholt und v. Marum erklärt in seiner Abhandlung „Über das Elektrisieren" 1777: „Wer die Verbreitung des elektrischen Lichtes in der verdünnten Luft gesehen und die vollkommene Gleichheit mit dem Nordlichte daran bemerkt hat, wird leicht zugeben, daß diese sonderbare Lufterscheinung aus Strömen der elektrischen Materie, welche sich in dem oberen Teile des Luftkreises ausbreiten, bestehe."

Eine Aufklärung über diese Frage erwartet man nun billigerweise von der Spektralanalyse, denn, wenn wirklich das Nordlicht elektrisch glühende Luft ist, muß das Spektrum desselben mit dem an der in Geißlerschen Röhren elektrisch glühenden Luft beobachteten gleich sein, allein zum Erstaunen der Beobachter zeigt sich das nicht, es fand sich auch nicht eine Ähnlichkeit mit dem Spektrum irgend eines verdünnten Gases beim Durchgange der Elektrizität, wie Zöllner nachgewiesen, aber trotzdem bleibt auch Zöllner bei der elektrischen Natur des Nordlichtes stehen, er zeigt nämlich, daß das Spektrum wesentlich abhängig ist von der Temperatur, bei welcher die Lichterscheinung hervorgerufen wird, und vermutet, daß das Nordlicht eben bei niedrigen Temperaturen entsteht, bei welchen wir die Lichterscheinung nicht imstande sind hervorzurufen.

---

1) Vergleiche auch Hawksbee's Experiment, pag. 6.

Wir dürfen wohl hoffen, durch die Beobachtungen von Prof. Lemström aus Helsingfors volle Klarheit in dieser Beziehung zu bekommen.[1]) Lemström hat künstlich das Nordlicht erzeugt, durch Armierung zweier Berge im nördlichen Finnland von 800 und 1100^m Höhe mittels metallischer Spitzen.

Winkler ist nicht nur hierin ein Vorläufer Franklins gewesen, sondern er bekämpft die Ansicht, daß der Blitz Feuer sei, durch eine Beobachtung, er erwähnt die viel beobachteten Fälle, daß Metall in nicht oder schlecht leitenden Umhüllungen vom Blitz oft geschmolzen wird, während diese ganz unversehrt erscheinen; wäre der Blitz wirklich Feuer, so müßte das Leder oder der Beutel, worin sich das Metall befindet, auch verbrannt sein, der Grund, daß das nicht geschehe, könne nur gefunden werden in der elektrischen Natur des Blitzes und dem der Elektrizität gegenüber verschiedenen Verhalten von Leitern und Nichtleitern.[2])

Erst 1749 am 7. November[3]) im vierten Briefe spricht sich Franklin über die elektrische Natur des Gewitters aus und giebt darin eine merkwürdige Theorie der Entstehung von Gewittern, die er selbst später wieder fallen ließ. Franklin geht von der bekannten Erscheinung des Meerleuchtens aus, und erklärt dieses durch Elektrizitätserregung, während wir heute dasselbe als eine Phosphoreszenzerscheinung behandeln. Das Meerwasser muß also nach Franklin elektrisch sein, beim Verdunsten nimmt dasselbe seine Elektrizität mit, und er fügt zur Erhärtung dieser Ansicht hinzu, daß stark elektrisiertes Wasser schneller verdunstet, wie nicht elektrisiertes. Auf diese Weise werden die Wolken elektrisch, behalten ihre Elektrizität so lange, da die Luft nicht leitend ist, bis sie einen Körper treffen, welcher weniger Elektrizität besitzt, das geschieht hauptsächlich beim Ziehen über die Erde, dann erfolgt Ent-

1) Mitgeteilt in der Sitzung des elektrotechnischen Vereins zu Berlin am 27. Febr. 1883.

2) Näheres über diese Fälle siehe bei Riess, Reibungselektrizität II, pag. 539.

3) Priestley, Geschichte der Elektr. Deutsch von Krünitz 1772, Vorrede XXVII.

ladung. Franklin sucht durch Beobachtungen diese Theorie zu stützen, einmal erfolgt die Entladung selten oder nie auf hoher See, sondern stets in der Nähe des Landes oder an den Abhängen der Gebirge. Allein seine eigenen späteren Untersuchungen zeigten ihm, daß seine Ansicht über die Elektrizität der Wolken falsch sein müsse.

35. Wichtiger ist der Brief vom 29. Juli 1750, weil in der Beilage dazu zum erstenmale der Vorschlag, einen Blitzableiter anzubringen, gemacht ist. Ich halte mich verpflichtet, die betreffende Stelle ganz zu citieren, da sämtliche mir bekannte Geschichten der Elektrizität und dementsprechend auch die Lehrbücher diesen Vorschlag in das Jahr 1753 verlegen, wodurch dann die Priorität Franklins in Frage gestellt ist, da in dem Jahre auch Winkler unabhängig (?) von Franklin denselben Gedanken hatte. Franklin giebt als Jahr der Abfassung dieser Beilage 1749 an. Da heißt es am Schlusse von § 20: „Ich sage, wenn dies sich so verhält, möchte nicht die Kenntnis der Kraft der Spitzen dem Menschengeschlecht nützlich sein zum Bewahren der Häuser, Kirchen, Schiffe etc. vor dem Blitzschlage, indem es uns dazu führte, auf den höchsten Teilen dieser Gebäude aufrecht stehende eiserne Stangen zu befestigen, die so scharf wie eine Nadel gemacht, und um den Rost abzuhalten, vergoldet sind? Von dem Fuß dieser Stangen müßte ein Draht an der Außenseite der Häuser herunter geleitet werden bis in den Grund, oder bei Schiffen an den Mastseilen bis ins Wasser. Diese spitzen Stangen würden vermutlich das elektrische Feuer aus einer Wolke ganz geräuschlos weit eher ableiten, ehe dieselbe zum Schlagen nahe genug käme, und würde uns hierdurch vor diesem plötzlichen und schrecklichen Unglücke sichern.“[1])

Dann erst schlägt Franklin den Versuch vor, den man aller Orten citiert findet, nämlich ein Schilderhaus auf einem erhöhten Punkte aufzustellen, dahinein auf einem Isolierschemel

1) News Experiments and Observations on Elect. pag. 65. Der Urheber der falschen Daten in den neueren Büchern ist vermutlich Fischer, welcher diese Vorschläge ohne Zeitangabe zwischen zwei andere Bemerkungen aus dem Jahre 1753 stellt. Fischer V. pag. 586.

einen Menschen, welcher eine spitze Eisenstange aus der Thür in die Höhe hält. Zieht eine Gewitterwolke über diesen Apparat weg, so wird der Mensch die Elektrizität durch die Spitzen-Wirkung der Stange auf sich ziehen und man kann einen Funken aus ihm ziehen; sollte man besorgt sein um den Menschen, so könne man die Stange auch isoliert anbringen und der Mensch könne mit dem Ende eines zur Erde abgeleiteten Drahtes, welchen er selbst mit einem isolierenden Harzgriff halte, Funken aus der Stange ziehen. Wir beachten, dies alles sind nur Vorschläge zu Experimenten, gemacht hat Franklin sie erst später.

36. Während man diese Versuche in Europa mit Eifer anzustellen bemüht war, beschäftigte sich Franklin hauptsächlich mit Verstärkung der elektrischen Kraft, um auf diese Weise Wirkungen hervorzubringen, die denen des Blitzes vergleichbarer waren. Er fand bei dieser Gelegenheit einige wichtige Thatsachen. Zunächst ließ er den Entladungsfunken durch eine Magnetnadel gehen und fand bei geeigneter Lage derselben, daß dieselbe dadurch unmagnetisiert worden war, nahm er eine feine Nähnadel, die nicht magnetisch war, so zeigte dieselbe nach dem Durchgange magnetische Polarität. Es gehörte dazu aber ein sehr kräftiger Schlag. Wilson, welcher diese Versuche auch zu machen bestrebt war, konnte sich keines Erfolges rühmen.[1]) Besonders erfolgreich war in dieser Richtung Wilke, welcher den Einfluß der Lage der Nadel auf die erzeugte Polarität nachwies und zeigte, daß, wenn eine Nadel parallel einem Magneten in die Nähe gelegt war, dieselbe nach dem Durchgange des Entladungsfunkens gerade so magnetisiert war, als ob sie den Magneten berührt hätte. Den richtigen Schluß zog er hieraus nicht, erst v. Marum zeigte 1786, daß der Magnetismus nicht durch die Elektrizität erzeugt sei, sondern daß der Strom nur die Nadel erschüttert habe, und dadurch die Induktion von Magnetismus von seiten des nebenliegenden Magneten oder von seiten des Erdmagnetismus erleichtert habe, wie schon Du Fay wußte, daß durch die mechanische Erschütterung einer Nadel mittels

1) Exper. and Observ. on Elect. pag. 90 ff.

Hammerschlägen an derselben durch den Erdmagnetismus Magnetismus induziert wird, der nach Stärke und Polarität von der Lage der Nadel zur Deklinations- und Inklinationsrichtung abhängt. Erst am 10. November 1820 zeigte Arago, daß die elektrischen Funken auch eine magnetisierende Kraft besitzen.

37. In Europa zeigte man aller Orten lebhaftes Interesse daran zu konstatieren, daß Franklins Behauptungen richtig seien. In Frankreich waren es D'Alilard und de Lor, von denen ersterer in einem Garten zu Marly eine 40 Fuß hohe Stange errichtete, letzterer zu Paris eine 99 Fuß hohe ganz nach Angabe Franklins. D'Alilard hatte die Freude am 10. Mai zwanzig Minuten nach zwei Uhr Nachmittags 1752 aus seiner Stange, über welche eine schwere Gewitterwolke zog, kräftige Funken zu ziehen, de Lor war bereits am 18. desselben Monats zwischen vier und fünf Uhr Nachmittags in derselben Lage.[1]) Diese Männer haben damit zuerst die elektrische Natur des Gewitters nachgewiesen. In England machte etwas später Watson, in Deutschland Winkler dieselbe Beobachtung. Erst am 19. Oktober desselben Jahres berichtet Franklin, nachdem ihm die europäischen Versuche mitgeteilt waren, daß er, aber auf andere Weise, die elektrische Natur des Gewitters auch nachgewiesen habe.

Franklin spannte über ein leichtes Kreuz von Zedernholz ein dünnes Seidentuch nach Art eines Drachen, versah diesen mit einem Schwanz, trieb in die Spitze des Drachen eine fußlange Drahtspitze und befestigte die Schnur des Drachen gleichzeitig an diesen Draht. Am unteren Ende der Schnur bindet Franklin einen Schlüssel fest, und von da aus hält er den Drachen an einer seidenen Schnur, sodaß er selbst isoliert ist. Zieht nun eine Wetterwolke auf und läßt man den Drachen steigen, so kann man aus dem Schlüssel lange Funken ziehen.[2])

Endlich im September 1752 errichtete Franklin nun auch selbst auf seinem Hause eine Wetterstange, nicht einen Blitzableiter, und befestigte an dem unteren Ende das bekannte elektrische Glockenspiel. Dieses fing selbstthätig an zu läuten,

---

1) New Experim. and Observ. on Elect. pag. 106.
2) New Experim. and Observ. on Elect. pag. 111.

sobald die Stange Elektrizität aufnahm, sodaß es als Signal diente.[1]) Diese Einrichtung diente Franklin aber auch dazu, die Art der Gewitterelektrizität zu bestimmen. Zu seinem Erstaunen fand er am 12. April 1753, daß die Wolken negativ elektrisch seien, während sie nach seiner Theorie über die Entstehung des Gewitters hätten positiv elektrisch sein müssen. Im Laufe der Untersuchung stellte sich allerdings heraus, daß zuweilen auch positiv elektrische Wolken vorkommen. Auf Grund seiner unitarischen Theorie mußte Franklin nun notwendig folgern, daß die Elektrizität gemeiniglich vom Erdboden gegen die Wolken schlage. Dann haben die Blitzableiter aber die noch viel wichtigere Bedeutung die Elektrizität aus der Erde abzuleiten, und so den Blitz selbst unmöglich zu machen.[2]) In der That ist auch für die dualistische Theorie diese Wirkungsweise der Blitzableiter die Hauptsache, sie bewirken ein Ausströmen der Elektrizität in die Luft und eine Verbindung der + und — Elektrizität ohne Funkenentladung, sie sind also nicht sowohl Blitzableiter als vielmehr Blitzverhinderer.

38. Daß Franklin nach diesen glänzenden Resultaten die Errichtung von Blitzableitern ernstlich ins Auge faßte, kann uns nicht Wunder nehmen, er wurde hierin sogar überholt von Winkler, welcher bereits zu Anfang September 1753 die Einrichtung dieser Ableiter genau vorschlug,[3]) während Franklin erst Ende September mit seinem Vorschlage ernstlich hervortrat. Es ist deshalb auch der erste Blitzableiter nicht in

---

1) New Experim. and Observ. on Elect. pag. 112 ff.

2) New Experim. and Observ. on Elect. pag. 117.

3) De avertendi fulminis artificio etc. Mit der Schrift ladet Winkler zu einer Gedächtnisfeier auf den 15. September 1753 ein, doch ist sie erst nach dem 6. August geschrieben, da er auf den an diesem Tage erfolgten Tod Richmanns Bezug nimmt. Übrigens ist der da vorgeschlagene Blitzableiter (pag. 8 u. 16) von unserem wesentlich dadurch verschieden, daß derselbe von der Spitze des zu schützenden Hauses in größerer Entfernung durch die Luft seitlich fortgeleitet wird und in einem runden Knaufe, dem runden Ende einer tief in der Erde steckenden eisernen Stange dicht gegenüber steht, sodaß der Apparat sowohl zur Beobachtung atmosphärischer Elektrizität geeignet ist, wie auch zum Ableiten der Gewitterelektrizität, indem bei stärkerer elektrischer Ladung zwischen den beiden Knöpfen fortwährend Funken überspringen werden.

Amerika errichtet, sondern in Mähren. Procopius Divisch, 1696 zu Senftenberg in Mähren geboren, wurde als Prämonstratenser Mönch Lehrer der Philosophie und Theologie im Stifte Bruck, wurde 1733 in Salzburg Doktor der Theologie, dann Kanonikus und Pfarrer zu Prenditz bei Znaym in Mähren, wo er 1765 starb; dieser Mann war es, der angeregt durch Winklers Schriften im Jahre 1754 den ersten Blitzableiter[1]) anlegte. In England ward der erste Blitzableiter durch Watson 1762 zu Payneshill angelegt und im heutigen Deutschland finden wir den ersten 1769 auf dem Jacobikirchturme in Hamburg durch Reimarus. In dieser Stadt bildete sich auch die erste Gesellschaft zur Anlegung von Blitzableitern 1770.

Ein heftiger Streit entbrannte über die Form der Blitzableiter in England, hervorgerufen durch die Entzündung eines Pulvermagazins zu Brescia. Die königliche Gesellschaft der Wissenschaften wählte einen Ausschuß um die Frage zu prüfen, und in diesem Ausschusse plaidierte Wilson sehr energisch gegen spitze Ableiter, er wollte sie durch runde ersetzen, damit sie nur Leiter seien und nicht etwa den Blitz noch besonders heranzögen. Seine Meinung schien eine kräftige Stütze zu bekommen, durch die teilweise Demolierung eines mit spitzen Blitzableitern versehenen Schiffsmagazins in Purfleet 1777 durch einen Blitzschlag. Allein der Mechaniker Edward Nairne widerlegte Wilson 1778 und seit der Zeit, sind die spitzen Ableiter, wie es auch richtig ist, die allgemein angenommenen.

39. Die Beschäftigung mit atmosphärischer Elektrizität übte einen großen Reiz auf die damalige Zeit aus. Aller Orten ragten die Beobachtungsstangen in die Luft. Le Monnier, der schon mehrfach erwähnte Arzt zu Paris, machte dabei eine wichtige Entdeckung, die erst in unserem Jahrhundert, besonders durch die Beobachtungen Dellmanns, ins rechte Licht gestellt ist. Le Monnier fand 1752, daß die Atmosphäre stets elektrisch sei, auch wenn gar kein Gewitter und gar keine Wolken vorhanden seien. Der Assessor beim Landgericht zu Nerac in Südfrankreich, de Romas, wiederholte den

1) Pelzel, Abbildung böhmischer und mährischer Gelehrter III. pag. 178.

Franklinschen Drachenversuch und zwar in großartigen Dimensionen. Einen $7^1/_2$ Fuß hohen, 3 Fuß breiten Drachen ließ er 550 Fuß hoch steigen und zog 1753 im Juni aus der an der Schnur befestigten Blechröhre Funken von acht Fuß Länge, deren Knall auf 200 Schritt weit hörbar war. Als er die Röhre durch eine breite Platte ersetzte, erhielt er Funken von zehn Fuß Länge. Doch sollte diese Untersuchung auch ein Opfer fordern. Der Professor Richmann in Petersburg wurde am 6. August 1753, als er sich seiner Beobachtungsstange bis auf einen Fuß näherte, um die Elektrizität derselben bei einem heranziehenden Gewitter zu beobachten, erschlagen durch einen aus der Stange ihm entgegenspringenden Feuerball.

Es wurde vieler Orten doch ruhig weiter experimentiert in dieser Richtung, denn die Elektriker waren durchaus nicht alle der Ansicht, daß Richmanns Schicksal ein beklagenswertes gewesen sei. Krünitz nennt den Tod Richmanns beneidenswert, und in der französischen Übersetzung der Priestleyschen Geschichte[1]) findet sich gar die Bemerkung, der deutsche Professor Bose habe den Wunsch geäußert, am elektrischen Schlage zu sterben, damit der Bericht von seinem Ende einen Artikel in den Schriften der königlich französischen Akademie abgeben möge.

40. Einen wesentlichen Aufschwung erfahren die elektrischen Untersuchungen in diesem Zeitabschnitte dadurch, daß man anfing messende Versuche zu machen. Als Erkennungszeichen des elektrischen Zustandes hatte Gilbert eine freischwebende Metallstange benutzt. Du Fay bemerkte, daß aufgehangene Leinenfäden, sobald sie in der Nähe der Elektrisiermaschine sich befanden, sich abstießen und daß der Grad der Abstoßung verschieden sei nach dem Grade der Elektrizitätserregung. Der Abt Nollet war zugegen und fand diese Abstoßung geeignet die Stärke der Elektrizität daran zu messen. Da man aber die isoliert aufgehangenen Fäden nicht berühren durfte, ohne ihre Elektrizität abzuleiten, so schlägt er vor durch ein Licht den Schatten dieser Fäden auf der darunter befindlichen Tischplatte zu erzeugen und hier mit einem geteilten

1) Histoire de l'Electricité etc. avec des Notes critiques pag. 164.

Kreisbogen die Größe des Winkels zu messen.[1]) Dieser Vorschlag ist um so beachtenswerter, als er gewissermaßen ein Vorläufer der heutigen Methode ist in Vorlesungen die Divergenz von Goldblättchen mit den Skioptikon zu demonstrieren.

Ein nicht minder interessanter Versuch war der von J. S. v. Waitz, der 1745[2]) vorschlug, an den Enden der Fäden kleine Metallstücke zu befestigen, um aus der Divergenz die Größe der Kraft zu berechnen, welche nötig gewesen, die Metallgewichte, welche ja unter dem Einfluß der Anziehungskraft der Erde stehen, zu heben. Dabei ist es nötig, die abstoßende Kraft lediglich in die Metallstückchen zu legen, nicht wie bei Nollet in die ganze Länge des Fadens, daher nimmt Waitz seidene Fäden, an welchen die Metallstückchen hängen. Das Prinzip dieses Apparates ist ein durchaus richtiges, es wird die abstoßende Kraft der Elektrizität in Gegensatz gebracht mit einer bekannten Kraft, der Schwere, und wäre damit in der That eine Messung durchaus möglich, wenn nicht die Schwerkraft zu groß wäre, als daß einigermaßen befriedigende Messungen danach hätten ausgeführt werden können. Das Prinzip ist hier dasselbe, wie es später von Coulomb angewandt wurde, nur daß hier die bekannte Kraft die Anziehungskraft der Erde ist, während Coulomb die Torsionskraft eines Fadens, eine weit schwächere, anwandte.

Die Schwere wandte auch Ellicott an, indem er eine Wagschale von einem elektrisierten Körper in bestimmter Entfernung anziehen ließ und auf der anderen Seite ein Gewicht aufsetzte, welches dieser Anziehung das Gleichgewicht hält.[3]) Dieser Ellicott war Uhrmacher in London und Mitglied der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften; seine Untersuchungen beziehen sich demgemäß hauptsächlich auf Uhren. Seinem Vorschlage für ein Elektrometer schloß sich Gralath an, doch leidet diese Methode an demselben Übelstande wie die von Waitz.

---

1) Memoires de l'Academie roy. 1747.

2) Abhandlung von der Elektrizität und deren Ursachen. Berlin 1745.

3) Phil. Transactions 1747—48.

Eine andere Einrichtung, die noch in unserem Jahrhundert in etwas verbesserter Form von Snow Harris[1]) anzuwenden versucht ist, wurde von le Roi und d'Arcy konstruiert:[2]) eine hohle Glaskugel mit einem langen dünnen Stiele wird durch hineingegossenes Quecksilber und eine auf den Stiel befestigte Messingscheibe so schwer gemacht, daß sie in einem mit Wasser gefüllten Glasgefäße schwimmt und nahezu den Boden berührt. Dies Glasgefäß ist durch einen Metalldeckel, durch welchen der Glasstiel des Schwimmers mit der oben daran befestigten Messingscheibe ragt, geschlossen. Stellt man die Messingscheibe nun so tief an dem Stiele herunter, daß sie den Deckel des Gefäßes berührt und teilt diesem Elektrizität mit, so wird die Messingplatte abgestoßen, also so weit gehoben, bis das Gewicht des von dem jetzt mehr aus dem Wasser herausragenden Glasstiel verdrängten Wassers gleich ist der abstoßenden Kraft der Elektrizität. Daß ein solcher Apparat empfindlich genug wäre, ist nicht zu behaupten, da hier noch die Reibung an der Öffnung des Metalldeckels und die Adhäsion des Wassers an dem Stiele störend wirkt.

Glücklicher war Canton, der freilich auch die Schwerkraft benutzte, aber doch so leichte Körper anwandte, daß die Vorrichtung noch heute mit Erfolg in jedem physikalischen Kabinet gebraucht wird.

Dieser John Canton war als Sohn eines Tuchwebers zu Stroud in Gloucestershire 1718 geboren, wurde Lehrer und brachte es als solcher bis zum Leiter einer Privatschule; er starb als Mitglied der Roy. Society 1772 zu London; er hat fast in allen Teilen der Physik gearbeitet und auch in der Elektrizitätslehre hat er sich hervorgethan durch sein Elektroskop und die weiteren Versuche, welche er damit machte. Sein Elektroskop bestand einfach aus zwei gut runden Kork- oder Hollundermarkkugeln[3]), die er entweder an einem Leinen- oder einem Seidenfaden aufhing, der über eine isolierte Stange

1) Phil. Transactions 1834.

2) Mémoires de l'Academie de Paris 1749.

3) Priestley, Geschichte der Elektrizität. Deutsch von Krünitz 1772. pag. 343 und 155.

ging. Näherte Canton nun einen elektrischen Körper, so fand er im ersten Falle stärkere momentane Wirkung, aber die Kügelchen fielen sofort wieder zusammen, wenn der elektrische Körper entfernt ward, bei seidenen Schnüren aber war die Abstoßung zunächst wohl nicht ganz so groß, aber sie erhielt sich auch noch, nachdem der elektrisierte Körper entfernt war.

Dieses Elektroskop benutzte er, um die Elektrizität der Atmosphäre zu beobachten und fand dabei, daß dieselbe sehr oft ihren Charakter ändere. Der Apparat zum Erhalten atmosphärischer Elektrizität war dem von Franklin und andern gleich, nur hatte derselbe durch den Abbé Mazeas eine Erweiterung in dem sogenannten Magazin erhalten, indem die Wetterstange mit einem größeren Konduktor am unteren Ende verbunden war. Um die Empfindlichkeit noch zu erhöhen, schlug später Priestley vor, einen einfachen Kokonfaden zu nehmen, demselben an einem Ende ein gewisses Quantum Elektrizität mitzuteilen, dies sei er sehr lange zu behalten imstande und daher könne man an seiner Abstoßung oder Anziehung auch bei den schwächsten elektrischen Kräften den + oder − Charakter konstatieren. An dieser Stelle will ich noch eines anderen Elektroskops erwähnen, welches noch heute bei dem Konduktor der Elektrisiermaschine angewandt zu werden pflegt, es ist das Quadrant Elektroskop von Henley 1772, welches aus einem massiven Messingstab besteht, der an seinem unteren Ende einen geteilten Elfenbeinbogen trägt, an seinem oberen Ende einen leichten Holzstab, der um eine horizontale Achse drehbar für gewöhnlich am Messingstativ herabhängt. Sobald aber der letztere elektrisiert wird, wird das Holzstäbchen abgestoßen und zeigt an dem Elfenbeinbogen die Größe des Winkels an und läßt damit eine Vergleichung der Elektrizität zu. Um die entstehende Elektrisierung des Elfenbeinbogens zu vermeiden, hat Saxtorph in seiner „Elektrizitätslehre“ eine Verbesserung vorgeschlagen, die darin besteht, daß an die Stelle der Messingstange eine Buchsbaumholzstange tritt, die den Gradbogen nicht unten, sondern oben in Form eines Halbkreises trägt, und daß das Holzstäbchen ersetzt wird durch einen Strohhalm, der unten eine Meerschaumkugel trägt, die bei gewöhnlichem Zustand in einer Vertiefung des Buchs-

baumstabes ruht. Der Strohhalm wird über das Gelenk hinaus fortgesetzt durch eine Glasspitze, welche auf dem Elfenbein-Halbkreis die Größe des Ablenkungswinkels angibt, so zwar, daß, wenn die Meerschaumkugel nach rechts abgelenkt wird, die Spitze denselben Winkel nach links oben anzeigt.

41. Über die Wirkungsweise eines elektrischen Körpers war man damals noch sehr im Unklaren. Ich habe Winklers Theorie angegeben, diese Anschauung teilte wesentlich auch Franklin und alle Zeitgenossen. Sie ließen aus dem elektrischen Körper einen Ausfluß stattfinden, welcher als elektrische Atmosphäre den Körper umgab, man mußte dann naturgemäß von + und — Atmosphäre sprechen, was man sich speziell unter letzterer zu denken habe, ist den Männern damals selbst nicht klar gewesen. Sie sprechen alle von dieser Atmosphäre wie von einer Flüssigkeit, so tauchen sie Körper in eine elektrische Atmosphäre etc.

Canton trug dazu bei, diese Erklärungsversuche immer mehr unmöglich erscheinen zu lassen. Zunächst war klar, daß, wenn es wirklich eine elektrische Atmosphäre gab, ein bestimmter Körper doch nur eine Art, entweder + oder — Elektrizität ausströmen konnte; das hatte man bisher auch ruhig angenommen. Canton fand aber, daß Glas nicht nur + elektrisch, sondern auch negativ elektrisch werden konnte; wenn er nämlich eine mattgeschliffene Glasröhre mit einem Flanellstück rieb, wurde sie negativ elektrisch, sobald er die Oberfläche des Glases aber wieder glatt, sei es durch Polieren oder Bestreichen mit Talg[1]), machte, wurde sie wieder positiv, das war weder für Canton noch Franklin erklärlich.

Eine andere Erscheinung machte noch größere Schwierigkeit. Canton zeigte, daß, wenn man einen isolierten Konduktor einem elektrisierten Körper nähere, das zugewandte Ende desselben die entgegengesetzte Elektrizität zeige von der des geriebenen Körpers. Franklin aber hatte bis dahin stets behauptet, daß der Körper, welcher in eine elektrische Atmosphäre getaucht würde, dieselbe Elektrizität auf seiner ganzen

---

[1]) Priestley, Geschichte der Elektrizität. Deutsch von Krünitz. g. 140 ff.

Oberfläche empfinge. Nun hatte das zugewandte Ende die entgegengesetzte, das abgewandte aber die gleiche Elektrizität. Weder Franklin noch ein anderer Anhänger der elektrischen Atmosphäre konnte dies erklären, obwohl von Franklin der Versuch gemacht wurde in einer den 18. Dezember 1755 bei der königlichen Societät vorgelesenen Abhandlung[1]).

Zweien Deutschen war es um diese Zeit vorbehalten, Klarheit in diese Verhältnisse zu bringen, wie sie überhaupt nächst Franklin die bedeutendsten Elektriker dieser Zeit sind. Der erste war Johann Karl Wilke, als Sohn eines Predigers in der damals noch schwedischen Stadt Wismar in Mecklenburg 1732 geboren. Sein Vater verließ Deutschland, um 1739 Prediger der deutschen Gemeinde in Stockholm zu werden. Dadurch wurde Wilke für die Zeit seines Lebens an dies Land gefesselt; er studierte in Upsala, ging aber dann nach Göttingen und Rostock, wo er 1757 promovierte mit einer Abhandlung über die entgegengesetzten Elektrizitäten, lebte dann in Berlin und fing 1759 an in Stockholm auf dem Ritterhause physikalische Vorlesungen zu halten. Gleichzeitig wurde er Mitglied der Stockholmer Akademie der Wissenschaften und 1784 ihr beständiger Sekretär, was er bis zu seinem Tode 1796 blieb.

Seine Schriften sind bis auf einige wenige in Schweden, in den Abhandlungen der Akademie enthalten, erschienen und behandeln vorzugsweise elektrische Fragen, doch ist Wilke auch berühmt als erster Zeichner einer Inklinationskarte, und als Erfinder der spezifischen Wärme. In bezug auf die Elektrizität bekannte er sich schon in seiner Doktordissertation als eifriger Unitarier, in seinen späteren Schriften ist er etwas mehr zur dualistischen Theorie übergegangen, wenn er sie auch nicht völlig acceptiert, in der Übersetzung der Franklinschen Briefe tritt er als strammer Verteidiger dieses Mannes auf, gegenüber den Angriffen des Abbé Nollet. Dieser Abt hatte eine Theorie der Elektrizität aufgestellt, aber ehe Franklin auf die Bühne kam, und diese war von der Akademie in Paris

1) Priestley, Geschichte der Elektrizität. Deutsch von Krünitz. 1772. pag. 158.

gewissermaßen approbiert, sie fand viele Anhänger, die Nollet begeistert verteidigten, so z. B. Krünitz, der Übersetzer der Geschichte von Priestley, welcher diesen als Anhänger Franklins in kritischen Anmerkungen gar scharf behandelt[1]). Nollets Hypothese war: Bei elektrischen Operationen bewegt sich die Elektrizität stets nach zwei Richtungen, der Zufluß treibt alle leichten Körper dem elektrisierten Körper zu (Erklärung des Anziehens), der Ausfluß stößt sie wieder ab, um aber Störungen dieser entgegengesetzten Kräfte zu vermeiden, nimmt Nollet an, daß die elektrisierten Körper zwei Arten von Poren haben, die einen lassen den Zufluß ein, die andern den Abfluß aus!

Doch zurück zu Wilke, er wiederholt die Versuche Cantons, aber faßt die ganze Erscheinung bedeutend klarer auf[2]), seine Experimente hierüber lassen sich zunächst in folgende Sätze fassen. 1. Ein leichter isolierter Körper A wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers B angezogen und bekommt im zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität, wie der anziehende Körper hat, im abgewandten die gleiche. Nach Entfernung des elektrischen Körpers verliert der isolierte Körper seine Elektrizität wieder. 2. Nähert man der abgewandten Seite des unter dem Einfluß des elektrisierenden Körpers B stehenden Körpers A eine Spitze, so wird der Körper A auch nach Entfernung von B Elektrizität zeigen und zwar entgegengesetzte, wie B. Außerdem entdeckte Wilke in demselben Jahre eine neue Quelle der Elektrizität, die entsteht, wenn man Schwefel oder Harz in einem abgeleiteten Porzellangefäße schmelzen läßt. Nach dem Erstarren zeigt der Schwefel starke negative Elektrizität. Wilke nannte sie freiwillige, jedoch wissen wir heute, daß dieselbe durch Reibung entsteht und bei jedem geschmolzenen Nichtleiter beobachtet werden kann.

In demselben Jahre trat Wilke mit einem andern Manne in Freundschaftsbeziehungen, die in gemeinsamen Arbeiten ihren Stützpunkt fanden. Das war Franz Ulrich Theodor Aepinus,

---

1) Priestley, Geschichte d. Elekt. Deutsch v. Krünitz 1772. pag. 298.

2) De electricitatibus contrariis. Rostock 1757.

geboren 1724 zu Rostock, wo er auch studierte und bis 1755 Privatdocent war. Dann folgte er einem Rufe als Professor der Astronomie an die Akademie in Berlin, wo er bis 1757 blieb. In diesem Jahre wurde er Professor der Physik und Mitglied der Akademie in Petersburg, dann wurde er Direktor des Kadettenkorps und Oberaufseher der russischen Normalschulen. Wegen seines langen Petersburger Aufenthaltes wird Aepinus von vielen als Nichtdeutscher behandelt. Nach seiner Pensionierung lebte er in Dorpat, wo er 1802 starb.

Aepinus wiederholte Wilkes Versuche; da ihm aber die Erklärung mit der elektrischen Atmosphäre unmöglich schien, zumal da er beobachtete, daß, wenn der Körper genähert wird dem elektrischen B, er an den entgegengesetzten Enden mit den beiden Elektrizitäten versehen ist; berührt er aber den Körper B, so erhält er nur eine Elektrizität, nämlich die gleiche mit dem elektrischen Körper B, führte er den Namen „elektrischer Wirkungskreis" ein.[1]) Um diese seine Anschauung zu beweisen, verband sich Aepinus mit dem um dieselbe Zeit in Berlin anwesenden Wilke. Sie überzogen zwei hölzerne Bretter mit Metallplatten und hingen sie einige Zoll von einander entfernt an isolierenden Seidenfäden frei in der Luft auf; als sie nun das eine Brett durch die Elektrisiermaschine mit Elektrizität versahen, zeigte auch das andere Elektrizität, aber die entgegengesetzte, und wenn ein Mensch nun die beiden Bretter berührte, erhielt er einen erschütternden Schlag. Damit war Franklins Theorie von der Tafel vernichtet, jener machte, wie schon erwähnt, das Glas für die Elektrizität verantwortlich und wollte die größere oder geringere Menge derselben durch die Struktur des Glases bedingt wissen. Aepinus zeigte, wie zur Erzeugung einer elektrischen Tafel nur nötig sei, zwei Konduktoren durch einen Isolator zu trennen, daß die Elektrizität sich lediglich auf der Oberfläche befinde, daß diese sehr glatt sein müsse, da durch vorhandene Spitzen oder Unebenheiten die Elektrizität die trennende Luftschicht leichter durchbreche und so, selbst ohne daß ein sichtbarer Funken überspringe, die Ladung der Lufttafeln unmöglich mache. Ja, selbst wenn die

1) Fischer, Geschichte der Physik V, pag. 736—741.

Tafeln ganz glatt waren, erfolgte oft eine mit heftigem Knall verbundene Funkenentladung, immer dann, wenn die Dichtigkeit der Elektrizität auf den Oberflächen zu groß war. So können wir Aepinus mit Fug und Recht den Entdecker der Influenzelektrizität nennen, während die erste, aber nicht verstandene hierher gehörige Beobachtung von Otto v. Guericke bereits gemacht ist.

42. Eine äußerst feine Bemerkung verdanken wir ebenfalls Aepinus. Er sagt nämlich, man könne nicht Leiter und Nichtleiter schlechthin unterscheiden[1]), sondern nur in Bezug auf den Widerstand, welchen sie der Leitung der Elektrizität entgegensetzten, und in Bezug auf die Zeit, welche zum Fortleiten erforderlich sei. So seien die Leiter nur Körper, bei welchen der Widerstand sehr klein oder gleich Null sei; die Nichtleiter solche, wo derselbe sehr groß sei, daher erfordere eine Entladung durch Leiter sehr kurze Zeit, durch Nichtleiter aber längere Zeit. Diese Bemerkung von Aepinus ist meines Wissens ganz unbeachtet geblieben, erst in unserer Zeit ist man wieder auf diese Anschauung zurückgekommen.

Zweites Kapitel.

Turmalin und Pyroelektrizität.

43. Noch eine andere Entdeckung machte Aepinus im Jahre 1756. Im Jahre 1703 hatten die Holländer den Turmalin von Ceylon mitgebracht und bemerkt, daß er imstande sei, die leichte Asche auf glühenden Torfkohlen anzuziehen, deswegen nannten sie ihn Aschentrecker; und im Jahre 1707 behauptet der Verfasser der „Curiosen Speculationen“[2]), daß der Stein erwärmt auch andere Körper anziehe. Der große Naturforscher Linné lernte den Stein kennen und nannte ihn 1747: lapis electricus. Wie er zu dem Beiwort electricus gekommen, sagt er nicht, sonst wurde er Ceylonischer Magnet

1) Fischer, Geschichte der Physik V, pag. 739.

2) Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten von einem Liebhaber, der immer gern speculirt. Leipzig 1707.

genannt[1]), aber weder Magnetismus noch Elektrizität waren bisher daran nachgewiesen. Erst die beiden Experimentatoren Aepinus und Wilke constatierten, daß wir es beim Turmalin mit Elektrizitätserregung zu thun haben, er fand, daß der Turmalin keine Elektrizität zeigt, wenn er an beiden Enden gleich warm ist, daß er elektrisch wird durch Erwärmen, und daß dann an den beiden Enden die entgegengesetzte Elektrizität sich befindet, daß er also elektrische Pole habe und auch in zerkleinertem Zustande dieselben Eigenschaften besitze.

Durch Aepinus angeregt, beschäftigten sich auch Wilson und Canton mit dem Turmalin und glaubten durch ungenaue Beobachtungen die Sätze von Aepinus teilweise widerlegt zu haben, dann aber untersuchten sie auch andere Krystalle, so fand Wilson den brasilianischen Smaragd, Canton den Topas ebendaher elektrisch. Seit dem Beginn dieses Jahrhunderts kennt man eine große Reihe elektrischer Krystalle.

44. Richtig dargestellt wurden die Erscheinungen am Turmalin zuerst von Torbern Bergmann 1766 und Wilke 1768. Bergmann war 1735 zu Katherinenberg (Westgotland) geboren, seit 1767 Professor der Chemie und Pharmacie zu Upsala, starb als Mitglied der Akademie zu Stockholm 1784 im Bade Medevi. Er fand als Erzeuger der Elektrizität am Turmalin nicht die Wärme als solche, sondern die Temperaturdifferenz. Beim Erwärmen zeigte das eine Ende positive, das andere negative Elektrizität, und beim Erkalten kehrte sich die Elektrizität der Pole um; sobald aber die Temperatur des Krystalls konstant blieb, zeigte sich keine Elektrizität, mochte dieselbe hoch oder niedrig sein. Man kann auch dadurch, daß man ein Ende des Turmalins in konstanter Temperatur erhält, das andere aber erwärmt oder abkühlt, nur einen Pol elektrisch erhalten. Diese Regel war übrigens schon von Canton 1759 flüchtig ausgesprochen in seiner Arbeit über das Nordlicht[2]), jedoch ohne den Beweis dafür zu erbringen. Es blieb diese Entdeckung Cantons auch ganz unbeachtet, weil man in einer Arbeit über das Nordlicht nicht wohl diese Ansicht über den

---

1) Poggendorff, Geschichte der Physik, pag. 895.
2) Phil. Transactions 1759, pag. 398.

Turmalin vermuten kann. Canton hatte zu seinen Experimenten einen vollständigen Krystall, während alle andern an geschliffenen Ringsteinen beobachteten, also wenig Elektrizität erhielten. Obwohl nun schon von Canton gezeigt war, daß als er seinen Krystall in drei Stücke zerbrach, jedes für sich wieder elektrisch war und an beiden Enden entgegengesetzte Pole besaß, gleichliegend mit den Polen des ganzen Krystalls, war es doch erst Brewster, welcher in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts nachwies[1]), daß auch der ganz fein pulverisierte Turmalinstaub beim Erwärmen elektrisch wird, indem sich derselbe, auf eine erwärmte Glasplatte gelegt, zusammenballt. Diese Anhäufung verschwindet wieder, sobald die Platte erkaltet. Unter dem Mikroskop erscheint dies Pulver eckig nach Art des ursprünglichen Krystalls.

Um die Elektrizität des Turmalins, oder wie sie heute genannt wird die Pyroelektrizität, gleich abzuschließen, da sich später die Gelegenheit hierzu nicht wohl bieten wird, will ich über den Zeitabschnitt, von welchem dieser Paragraph handelt, hinausgehen. Wesentlich neue Entdeckungen machte Hauy im Anfang unseres und Ende des vorigen Jahrhunderts, indem er zunächst nachwies, daß bei anderen Krystallen, z. B. beim Boracit, nicht zwei, sondern vier Pole auftreten, von denen je zwei, ein positiver und ein negativer Pol, sich diametral gegenüberliegen.[2]) Wir nennen heutzutage die Richtung der Verbindungslinie zweier solcher diametral liegender entgegengesetzter Pole eine elektrische Achse. Erst viel später ist gezeigt[3]), daß nicht vier, sondern acht Pole an diesem Krystall zu unterscheiden sind, so daß derselbe vierachsig ist. Um die Mitte unseres Jahrhunderts sind dann die weitgehendsten Untersuchungen über diese Pyroelektrizität angestellt, besonders von Rose[4]), von Rieß[5]) und vor allen von Hankel.[6]) Rose führte eine bestimmte

1) Pogg. Annalen II, pag. 297.
2) Fischer, Geschichte d. Physik VIII, pag. 854.
3) Rieß, Reibungselektrizität II, pag. 478 ff.
4) Abhandlungen d. Akademie. Berlin 1836.
5) Abhandlungen d. Akademie. Berlin 1843.
6) Hankels Abhandlungen finden sich verteilt über fast sämtliche Bände der Abhandlgn. d. königl. sächsisch. Gesellsch. d. Wissenschaften

Nomenklatur ein, indem er den Pol, welcher beim Erwärmen positive Elektrizität zeigt, den analogen, den, welcher gleichzeitig negativ ist, den antilogen Pol nennt. Nun hatte schon Hauy[1]) gezeigt, wie die Lage der Pole durch die Gestalt des Krystalles von selbst bestimmt sei, doch erst in den Untersuchungen jener Männer finden sich die genauen Angaben darüber.

Zunächst muß festgestellt werden, daß sich die Pyroelektrizität in erster Linie an solchen Krystallen findet, die in ihrer Form eine Kombination aus einer einfachen vollen Grundform mit einer hemiedrischen bieten. Ich bediene mich des Turmalins als des Hauptrepräsentanten dieser Gattung. Der Turmalin ist eine sechsseitige Säule, an welcher eine hemiedrische sechsseitige Säule, d. h. eine dreiseitige, abstumpfend auftritt, oder die sechsseitige Säule spitzt die dreiseitige an den Kanten zu, sodaß die Säule nun neunseitig erscheint mit ungleichen Neigungswinkeln der Grenzflächen. Die Enden des Turmalins sind von je drei Flächen eines Hauptrhomboeders begrenzt, welche am einen Ende auf den Flächen der dreiseitigen Säule, am andern auf den Kanten derselhen aufsitzen; ersteres repräsentiert den analogen, letzteres den antilogen Pol. Ähnliche Bestimmungen giebt es bei allen Krystallen, welche Pyroelektrizität zeigen, sodaß es nicht nötig ist, bei einem Exemplar erst einen Versuch zu machen; man weiß aus dem Ansehen desselben die Anordnung der Pole; das ist natürlich nur leicht bei völlig ausgebildeten Exemplaren, die sind aber verhältnismäßig selten.

Wenn nun auch die hemimorphen Krystalle in erster Linie pyroelektrisch sind, sodaß die älteren Untersucher diesen Hemimorphismus als Bedingung für die Erscheinung forderten, hat Hankel doch gezeigt, daß diese Eigenschaft der Pyroelektrizität fast allen Krystallen zukommt, und giebt als Bedingung an, daß wahrscheinlich nur eine Verschiedenheit in den krystallographischen Achsen ausreiche. Bei den nicht hemimorphen Krystallen sind dann die Achsen an ihren Enden nicht ent-

---

von 1857—1877, und eine grosse Reihe von Bänden von Pogg. Annalen von 1840 an.

1) Hauy, Grundlehren d. Physik. Weimar 1804.

gegengesetzt polar, sondern gleichartig polar; die Untersuchung Hankels bezieht sich auf Oberflächen-Elektrizität, welche an einem Elektrometer beobachtet wurde.

45. Die Erklärungsversuche für dies Phänomen weichen sehr von einander ab. Bergmann und später Becquerel[1]) erklärten die Sache nicht, letzterer glaubte sogar nachgewiesen zu haben, daß die Ansicht, als ob alle Moleküle des Krystalls selbst polar elektrisch seien, unmöglich sei, da man nicht einsehen könne, wie dann Temperaturveränderungen an dem vorher unelektrischen Körper plötzlich die polaren Erscheinungen zeitigen können. Diese von Becquerel verworfene Hypothese nahm Thomson 1878 wieder auf und machte die Erscheinungen plausibel durch Zuhilfenahme der Ableitung der Elektrizität in der Luft, jedoch gelingt es Thomson nicht, den Versuch zu erklären, daß ein gleichmäßig warmer Turmalin durchbrochen, an der Bruchfläche keine Elektrizität zeigt, was man nach seiner Theorie erwarten müßte. Auch Maxwell hat eine ähnliche Vorstellungsweise. Hankel widersetzt sich ihr, indem er von eigener Elektrizität der Moleküle nichts wissen will, die er höchstens für hemimorphe Krystalle gelten lassen will, er glaubt, die Elektrizität sei Folge der durch die Erwärmung erfolgten verschiedenen Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen resp. der Kontraktionen, verbunden mit größerer oder geringerer Leitungsfähigkeit der Krystalle nach verschiedenen Richtungen. Gaugain[2]) spricht die Krystallelektrizität als eine thermoelektrische Erscheinung an, nach ihm ist ein Krystall eine thermoelektrische Säule von großem Widerstande. Endlich ist in letzter Zeit von Jaques und Pierre Curie[3]) eine der Thomson'schen Theorie analoge aufgebaut auf Grund ihrer Beobachtung, daß jeder pyroelektrische Krystall auch durch Druck elektrisch werde. Nach ihnen sind die Moleküle des Turmalins analog den Volta-schen Kupfer-Zink-Elementen, die durch eine Luftschicht getrennt sind, sie finden die elektrische Ladung an den Polflächen des Krystalls dann proportional der Oberfläche und der (durch

---

1) Annales de Chimie et de Physique, Bd. 37, 1828. pag. 1.
2) Comptes rendues, 42, 43, 44. 1856 und 1857.
3) Comptes rendues 92. 1881, pag. 350.

Druck oder Erwärmung bewirkten) Änderung des Abstandes der Moleküle, umgekehrt proportional dem Quadrat dieses Abstandes, dagegen unabhängig von der Anzahl der Moleküle. Ich selbst[1]) neige mich der Thomson'schen Ansicht zu und untersuchte den Krystall nicht an der Oberfläche, sondern nach Art der Magneten als ein aus polaren Molekülen bestehendes Ganze. Allein eine durchgeführte Theorie, die alle Erscheinungen erklärte und allgemein gültige Formeln gäbe, giebt es für die eine Hypothese ebensowenig wie für die andere. Die Zukunft muß hier noch Licht bringen.

46. Nahe verwandt mit diesen pyroelektrischen Erscheinungen ist die von Hankel[2]) entdeckte Photoelektrizität, welche sich am Flußspat zeigt und entsteht, wenn derselbe von irgend welchen Lichtstrahlen durchsetzt wird, sie beruht auf den chemischen Wirkungen des Lichtes auf den Farbstoff, und tritt deswegen nur bei den dunkelgefärbten Exemplaren auf, besonders den grünen, nicht auch bei den gelben.

47. Damit verwandt sind die in demselben Bande der Abhandlungen enthaltenen Erscheinungen der von Hankel sogenannten Actinoelektrizität, die sich am Bergkrystall zeigt, wenn derselbe von Wärme und Lichtstrahlen durchsetzt wird, und beruht auf der Wirkung der dunkeln Wärmestrahlen. Die entstehende Polarität ist gleich der beim Erkalten eintretenden. Hankel erklärt sie durch eigentümliche Rotationen des Aethers um die Moleküle, welche durch die Schwingungen der Wärme- und Lichtstrahlen hervorgerufen werden sollen.

Daß die Krystalle übrigens auch durch Druck elektrisch werden, hat schon Hauy[3]) zur Konstruktion eines empfindlichen Elektroskops Veranlassung gegeben, indem er ein Stück Kalkspath an der einen Seite eines frei aufgehangenen Schellackwagebalkens befestigt, welcher an der anderen Seite ein Gegengewicht trägt. Durch Druck macht man das Kalkspatstück

---

1) Nachrichten v. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Göttingen 1877, pag. 474.

2) Abhandlungen d. k. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 20. 1879, pag. 203.

3) Mém. Mus. Hist. nat. III 1817.

positiv elektrisch, dann wird ein positiv elektrischer Körper den Wagebalken abstoßen, ein negativ elektrischer denselben anziehen.

Drittes Kapitel.

Die Symmersche Theorie und die Nachfolger Franklins.

48. Nach dieser Abschweifung wenden wir uns wieder dem Franklinschen Zeitalter zu. Besonders merkwürdig ist, daß bald nach Franklins Theorie, eine andere auch ausgebildet wurde und in Gegensatz zu der Franklinschen trat, obgleich sie sich auf Experimente stützte, welche auch mit den Hypothesen Franklins hätten erklärt werden können. Der Begründer dieser Ansicht war Robert Symmer. Über sein Geburtsjahr sind mir Angaben nicht bekannt, er war seit 1753 Mitglied der Roy. Societ. und starb als solcher 1763. In dem Phil. Trans. finden sich von ihm im Jahre 1759 vier Abhandlungen, in welchen er seine Theorie klarlegte. Symmer hatte die Gewohnheit zwei Paare seidener Strümpfe zu tragen, von denen das untere weiß, das obere schwarz war, als er eines Abends beim Ausziehen derselben ein merkliches Geknister vernahm und im Dunkeln helle Funken sah, sprach er die Erscheinung als eine elektrische an und konstatierte, daß, wenn er allein das obere Paar abziehe, dieses stark elektrisch war, sodaß es vollständig aufgeblasen erschien, waren sie beide von gleicher Farbe, so stießen sie sich bis zu einem Winkel von 30 bis 35° ab, bei ungleicher Farbe erfolgte Anziehung. Daraus glaubte Symmer schließen zu müssen, daß die Farbe der Strümpfe die verschiedene Elektrizität bedinge, allein der Abbé Nollet zeigte, daß bei den schwarzen Strümpfen die Farbe durch Galläpfel erzeugt war, und daß diese Substanz die Ursache der verschiedenen Elektrizität sei, während auf andere Weise schwarz gefärbte Strümpfe dies Verhalten nicht zeigten. Symmer nahm nun die alte Du Faysche Vorstellung von den zwei verschiedenen Elektrizitäten auf und gründete damit die dualistische Theorie der Elektrizität. Danach giebt es zwei verschiedene Elektrizitäten, jede derselben wirkt für sich genommen gleichartig, aber beide vereint geben

keine Wirkung. Ein Körper hat also im natürlichen Zustande von beiden Elektrizitäten gleiche Mengen, wird er nun elektrisch erregt, sei es durch Reiben oder durch Influenz, so erfolgt eine Scheidung; indem beim Reiben der eine Körper die positive, der andere die negative Elektrizität bekommt, und bei der Influenz durch einen genäherten elektrischen Körper am zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität angesammelt wird, am abgewandten die gleiche Elektrizität.

Mit dieser Hypothese, welche nur durch die Annahme zweier Elektrizitätsarten weitläufig erscheint, in der That aber viel einfacher ist wie die Franklinsche, die, obwohl nur eine Elektrizität angenommen wird, doch so viele Nebenhypothesen machen muß, lassen sich in der That sämtliche Erscheinungen sehr einfach ohne Zuhilfenahme neuer Annahmen in ganz gleichmäßiger Form erklären; während wir bei der Franklinschen auf vielfache Schwierigkeiten gestoßen sind. So darf es uns denn nicht wundern, wenn die Symmersche Theorie bald eine große Verbreitung fand und selbst frühere Anhänger der Franklinschen Theorie, wie Wilke[1], sich für die dualistische aussprachen. Franklin selbst war von dem Eifer für die Wahrheit so erfüllt, daß er bereitwillig die Hand bot, Versuche anzustellen, welche zur Unterstützung der Symmer'schen Theorie dienen sollten; als einzig praktisches Resultat ergab sich dabei, daß, wenn man den Entladungsfunken durch ein Buch Papier gehen ließ, beide Enden des durchgeschlagenen Loches nach außen gebogene Ränder zeigten, während man nach Franklin hätte annehmen sollen, daß nur das Ende, wo die positive Elektrizität aus dem Buche trat, aufgebogene Ränder zeige.

49. Wesentlich von Nutzen wurden der Symmer'schen Theorie Entdeckungen, welche von Wilke und andern gemacht wurden.

Wilke beobachtete, daß Glas nicht nur die Eigentümlichkeit habe, durch Reiben positiv elektrisch zu werden, sondern auch negativ werden könne. Schon Canton hatte die Oberflächenbedingung für die + Elektrizität des geriebenen Glas-

---

1) Schwedische Abhandlungen 1777. Band 39. pag. 63.

stabes gegeben. Wilke fand, daß auch völlig glattes Glas durch Reiben negativ elektrisch werde, wenn er nämlich eine Glasröhre quer rieb mit einem Felle, wurde es +, sobald aber die darüber gezogenen Haare mit der Richtung der Glasröhre zusammenfielen, wurde dieselbe negativ elektrisch. Freilich macht Wilke hierbei die unrichtige Unterscheidung zwischen lebenden und toten Haaren[1]). Er ist es auch, der zuerst eine Reihe aufgestellt hat von solchen Körpern, wo einer der vorhergehenden mit dem folgenden gerieben +, letzterer — Elektrizität aufweist. Die Reihe lautet von oben nach unten gelesen:

Glattes Glas	Holz	weißes Wachs	Schwefel
Wollenes Tuch	Papier	mattgeschliffenes Glas	Metalle[2]).
Federkiele	Lack	Blei	

Diese Reibungsreihe, wie wir sie nennen wollen, so wichtig sie ist, wurde wenig beachtet, sie erlitt später mannigfache Veränderungen. Später stellte Herbert eine erweiterte auf. worin aber die Wilkeschen Körper wesentlich ihre Stelle behaupteten. Jedoch fehlte es nicht an Versuchen, welche dieser Reibungsreihe widersprachen.

Schon Aepinus hat bemerkt[3]), daß stets zwei aufeinander geriebene Körper Elektrizität zeigen, sodaß der eine +, der andere — elektrisch war. Er beobachtete, daß zwei aufeinander gepreßte Stücke Spiegelglas nach der Trennung stark elektrisch, das eine +, das andere —, waren, daß sie bei Wiederannäherung ihre Elektrizität verlieren und daß sie beide gleichartig elektrisch wurden, wenn man das eine vor dem Wiederzusammentreffen ableitend berührte. Diese wichtige Entdeckung Aepinus' scheint mir völlig vergessen zu sein, da ich sie in keinem neueren Werke gefunden. Wir wissen, daß sie richtig ist. Ein Pendant dazu ist die Beobachtung, daß die Trennungs-

1) Rieß, Reibungselektrizität I. pag. 22. 1853 und II. 387.

2) Wilkes Uebersetzung der Franklinschen Briefe. 1758. Anmerkungen § 41. (Rieß citiert die Seite, hat aber wohl übersehen, daß bei der Paginierung dort ein Irrtum vorliegt und daß die Seite 257, welche er anführt, eigentlich 273 heißen sollte.)

3) Fischer, Geschichte d. Elektrizität, V. pag. 692.

flächen eines zerschnittenen Korkes ebenfalls + und — elektrisch sind, von Canton entdeckt. Es ist für alle diese Erscheinungen, deren große Anzahl sich bei Rieß II. pag. 400 bis 404 aufgezählt findet, nur die Reibung der Grund.

50. Obwohl Wilke zunächst versuchte diese Erscheinungen mit Hilfe der Franklinschen Theorie zu erklären, sind sie doch ganz geeignet, die Unhaltbarkeit der Theorie darzuthun, wie denn auch Wilke später diese Versuche aufgab. Franklin selbst hatte eine Entdeckung gemacht, die das elektrische Verhalten der Körper nach seiner Theorie höchst zweifelhaft machte. Er fand, daß die Temperatur einen wesentlichen Einfluß auf dies Verhältnis ausübe, und nicht nur bewirken könne, daß ein Körper, der sonst + elektrisch wird, auch einmal — elektrisch werden kann, sondern daß derselbe sogar von einem Nichtleiter zu einem Leiter werden könne und umgekehrt. Er hatte gezeigt, daß Eis die Elektrizität nicht leite, was freilich später von Bergmann bestritten wurde, Achard aber bestätigte Franklins Beobachtung vollständig[1]), und Cavendish[2]) zeigte, daß sonst gut isolierendes Glas bei 253° R. zu einem vorzüglichen Leiter der Elektrizität wurde und in der Abkühlungsperiode diese Eigenschaft bis auf 163° beibehielt. Diese verschiedenen Einflüsse, unter denen die Elektrizitätserregung durch Reibung desselben Körpers verschiedene Bedeutung zeigt, mußten es als unmöglich erscheinen lassen, daß überhaupt eine solche Reihe aufgestellt werden kann. Daher vermied Lichtenberg mit einer gewissen Absichtlichkeit bei seinen zahlreichen Versuchen die Anordnung, welche einer solchen Reihe entsprechen würde. Da später durch die Entdeckungen Voltas auch für die Elektrizitätserregung durch Reibung eine solche Reihe erwünscht erschien, hat Th. Young[3]) eine Reihe aufgestellt aus den Lichtenbergschen Versuchen und Faraday[4]) leitete eine Reihe aus eigenen Versuchen ab, welche aber ebensowenig zuverlässig ist wie die früheren. Rieß

---

1) Chymisch-physische Schriften. 1780.
2) Experiments and observations on elect. 1769. pag. 403.
3) Th. Young, Lectures on naturae philosophy. London 1807. II.
4) Faraday, Pogg. Annal. 60. 1843.

hat deswegen eine tabellarische Übersicht gegeben. Ich lasse die letzten drei Reihen hier folgen nach Rieß[1]).

51. **Youngs Reihe.**

Name des Körpers	gerieben mit												
	Glas poliert	Haare	Wolle	Federn	Papier	Holz	Wachs	Siegellack	Glas matt	Metalle	Harz	Seide	Schwefel
Glas poliert	0		—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
Haare								—			—	—	
Wolle	+					—		—	—		—		
Federn	+								—				—
Papier	+	+						—	—				—
Holz	+	+	+						—			—	—
Wachs	+								—				—
Siegellack	+	+	+					0	—				—
Glas matt	+		+	+	+	+	+	+				—	—
Metalle	+	+							+	0			
Harz	+	+	+						+	+	0		
Seide	+	+								+			
Schwefel	+			+	+	+	+	+	+				0

Die Zeichen geben die erhaltenen Elektrizitätsarten an, wo kein Zeichen steht ist eine Untersuchung nicht geschehen.

Faradays Reihe:

+ Katzenfell und Bärenfell	Leinwand, Segeltuch
Flanell	weiße Seide
Elfenbein	die Hand
Federkiele	Holz
Largkrystall	Lack
Flintglas	Eisen, Kupfer, Messing, Zinn, Silber, Platin
Baumwolle	Schwefel —,

in welcher stets das vorhergehende mit dem folgenden gerieben + elektrisch wird. Faraday giebt aber selbst an, daß die Art

1) Rieß, Reibungselektrizität II. 386 u. 387, I. 23.

des Reibens, sowie die Stärke des Druckes einen Unterschied bedinge. Rieß hat diese Reihe fortgesetzt und etwas verbessert, danach würde es am Schlusse heißen:

Die Hand,	Schwefel
Holz	Guttapercha
Gold, Eisen. Kupfer	Elektrisches Papier[1])
Kautschuck	Kollodium
Siegellack	Schießbaumwolle.

Endlich stellt Rieß seine eigenen langjährigen Untersuchungen schematisch zusammen, indem immer ein Körper rechts mit einem links oder umgekehrt gerieben gedacht wird; bei den Versuchen, welche unter allen Umständen gleiches Resultat gaben, ist dies durch ein zugefügtes (sicher) angedeutet.

positiv elektrisch.	negativ elektrisch.
1) Pelz der Raubtiere, struppiges Menschenhaar	Glas, Porzellan, Holz, Metalle, Harze, Schwefel
2) Glas	Zinn-Zink-Amalgam auf Leder (sicher)
3) Pelz, Wolle, Leinen, Seide, Papier, Metalle	Colophon, Siegellack, Schwefel, Schellack, Bernstein (sicher)
4) Diamant, Topas, Axinit, Bergkrystall, Kalkspat, Glimmer, poliertes Glas	Wolle, Leinen, Seide, Leder
5) Glas, Seide	Metalle.

52. Nach dieser Ausführung, für welche ich in dem späteren Abschnitte, der die Zeit umfaßt, wo diese Beobachtungen angestellt wurden, kaum eine geeignete Stelle finden würde, kehren wir zu Wilke zurück. Es waren die Wirkungen der Spitzen, welche Wilke von der Unzulänglichkeit der Franklinschen Theorie überzeugten. Wie ich am geeigneten Orte erwähnt habe, hatte Gordon bereits das elektrische Flugrad erfunden, nicht erst Hamilton wie Rieß angiebt, Franklin

1) Elektrisches Papier wird erhalten durch Einwirkung konzentrierter Salpetersäure auf gewöhnliches Schreibpapier; entdeckt 1843 von Pelouze.

hatte die von Canton gemachte Entdeckung der Spitzenwirkung vollständig bestätigt gefunden, nun beschäftigte sich Wilke damit. Bisher hatte man das Ausströmen der Elektrizität an den Spitzen nur bei positiver Elektrizität untersucht und dabei das eigentümliche Glimmlicht beobachtet, welches man mit einer Art Phosphor verglich. Wilke zeigte, daß sich auch durch negative Elektrizität dasselbe erzeugen ließ.[1]) An der + elektrischen Spitze wurde dies Ausströmen leicht zugestanden und erschien, wenn man gar die Theorie der Atmosphäre beibehielt, sehr natürlich, allein wie wollte man dasselbe an der — Spitze erklären, da hätte man ein Einsaugen der Elektrizität wohl erwarten können, doch nicht ein Ausströmen. Wilke zeigte aber, daß nicht nur das Glimmlicht sich zeige, sondern daß auch ein Wind von den Spitzen ausgehe, der stark genug sei, ein Licht auszublasen, und auf einer Flüssigkeitsoberfläche eine Welle zu erzeugen. Das, sagt er, giebt ein schweres Bedenken gegen Franklins Theorie. In der That beruht diese Erscheinung darauf, daß die benachbarten Luftteilchen durch Mitteilung elektrisch werden in gleichem Sinne wie die Spitze, dann also von dieser abgestoßen werden und damit den „elektrischen Wind" erzeugen, der mit der Elektrizität der Spitze wächst, sodaß man sogar leichte Räder dadurch in Rotation versetzen kann; bei dieser Erklärung ist es natürlich gleichgültig ob + oder — Elektrizität der Spitze mitgeteilt würde. Ist die Spitze selbst drehbar, so wird die Rotation des Spitzenrades entstehen, und dadurch kann man leicht zeigen, daß die gegebene Erklärung die richtige ist. Cigna zeigte, daß die Rotation nur so lange dauert, bis die Umgebung ganz elektrisiert ist, indem er das Rad in einen isolierten Metallkessel stellte, wo die Rotation aufhörte, sobald die Wand des Kessels mit der der Spitze gleichen Elektrizität geladen war, und Cavallo zeigte, daß im luftverdünnten Raume diese Rotation aufhört, da nicht Luftteilchen genug vorhanden sind, die eine abstoßende Wirkung ausüben könnten.

1) Fischer, Geschichte der Physik V, 786 ff., vergleiche auch Abhandlungen der schwedischen Akademie der Wissenschaften, Band 20, deutsch von Kästner.

53. Das elektrische Büschellicht, wie es von Spitzen ausgesendet wurde, pflegte man um die Zeit besonders in luftverdünnten Räumen herzustellen. Zu diesen Beobachtungen gab Veranlassung die bereits erwähnte Entdeckung des Franzosen Picard im Jahre 1675, der in Paris eines Abends sein Barometer von dem Observatoire nach der Porte St. Michel tragen ließ. Dadurch geriet das Quecksilber in Schwankungen und jedesmal beim Heruntergehen zeigte sich in dem luftleeren Raume ein heller Lichtschein. Zunächst wurde diese Erscheinung auch bei einigen anderen Barometern wahrgenommen, aber durchaus nicht bei allen. Da glaubte Johannes Bernoulli 1700 den Grund des Leuchtens gefunden zu haben, er sollte im Quecksilber liegen und wesentlich durch die Reinheit der Oberfläche bedingt sein, deswegen stellte Bernoulli seine Barometer durch Aufsaugen des Quecksilbers in der Röhre her, und übergab schließlich einen sogenannten Quecksilberphosphor an Leibnitz, welcher in einer Glasröhre bestand, die mit 5—6 Unzen Quecksilber in verdünnter Luft gefüllt war, beim Schütteln zeigte sich das Leuchten. Der Erklärungsweise Bernoullis entgegen zeigte Hawksbee bereits 1706, daß das Reiben die Ursache der Erscheinung sei, doch drang er damit gegen das Ansehen Bernoullis nicht durch. Erst Christian Friedrich Ludolff, praktischer Arzt zu Berlin, geboren daselbst 1707, gestorben ebenda 1763, weist in einer trefflichen Abhandlung 1745 nach,[1]) daß nur die durch Reiben des Quecksilbers an der Glaswand erzeugte Elektrizität die Ursache hiervon sei, indem er zeigte, daß, wenn der obere Teil des Barometers mit einer Glashülle umgeben wurde, in welcher Fäden aufgehängt waren und die Luft verdünnt war, sich Anziehung der Fäden zeigte, sobald durch Saugen an dem unteren Gefäße des Barometers das Quecksilber in Schwankungen gebracht wurde.

Diese Erscheinung zeigte sich nun durchaus nicht bei allen Barometern, Du Fay behauptete das Leuchten trete ein bei allen guten Barometern, d. h. bei denen die ganz luftfrei seien. Musschenbroek behauptete das Gegenteil, und endlich zeigte De Luc 1776, daß keins von beiden richtig sei,

1) Mém. de l'acad. de Berlin. 1745.

sondern, daß die Erscheinung jedesmal sich zeige, wenn die Oberfläche des Quecksilbers und die des Glases vollkommen rein ist, dann entsteht das Leuchten in den Barometern, wo sich im oberen Teile noch etwas Luft oder Quecksilberdämpfe befinden, durch diese hindurch, in denen aber, worin sich diese nicht oder in zu großer Kleinheit befinden, auf der Oberfläche des Glases, wenn dieses etwas leitend ist.[1] In neuerer Zeit hat sich Rieß wieder mit diesen Erscheinungen beschäftigt, und dies Leuchten hergestellt in 27 Zoll langen, drei Linien weiten luftleeren Glasröhren, in welchen sich einen Zoll hoch Quecksilber befand. Die Röhren waren an beiden Enden zugeschmolzen und das Quecksilber konnte also durch die ganze Röhre fallen; dann folgte demselben, in einem mäßig dunkeln Zimmer sichtbar, ein Lichtschein, ließ man dies Quecksilber schnell von einer Seite zur andern fallen, so folgte ein Blitz durch die ganze Röhre dem Quecksilber.

Mit diesen Erscheinungen sind verwandt die Versuche, welche ich bei Erwähnung des Grummert aus Biela angeführt habe. Die ersten Erscheinungen die hierher gehören, sind die von Hawksbee[2]) beobachteten Lichterscheinungen in einem geriebenen evacuierten Glascylinder. Wir haben es da mit Influenzelektrizität zu thun; während auf der äußeren Seite des Cylinders durch Reiben Elektrizität erzeugt wird, induziert diese auf der inneren Seite die entgegengesetzte Elektrizität; beweisen läßt sich das durch den Versuch, daß man die innere Seite des Cylinders, mit Ausnahme der beiden Enden mit einer dicken Schicht Pech überzieht, dann die äußere Seite mit der trockenen Hand reibt, dann sind auf der innern Seite deutlich die leuchtenden Umrisse der Hand zu erkennen. Rieß hat den Vorgang am einfachsten dadurch erklärt, daß er eine an beiden Enden geschlossene evacuierte Röhre mit dem einen Ende an den Konduktor einer Elektrisiermaschine hielt, die positive Elektrizität der Außenseite dieses Endes übt eine Scheidungskraft auf die Elektrizität der am selben Ende befindlichen Innenseite, sodaß die negative hier angesammelt,

1) Rieß, Reibungselektrizität II. 149.
2) Philos. Transact. 1706—1708.

die positive aber leuchtend durch die Röhre nach der entgegengesetzten Innenseite geleitet wird durch die verdünnte Luft, diese positive Belegung erzeugt auf der zugehörigen Außenseite negative Elektrizität, sodaß die ganze Röhre wie zwei Franklinsche Tafeln anzusehen ist; an dem Ende, welches dem Konduktor zugewandt ist, befindet sich außen +, innen — Elektrizität, auf dem entgegengesetzten Ende außen —, innen +; diese beiden Tafeln sind durch die verdünnte Luft leitend mit einander verbunden, sodaß, wenn man die beiden Enden der Röhre anfaßt, man einen Entladungsschlag durch den Körper fühlt. Sobald die Röhre vom Konduktor entfernt wird, vereinigen sich im Innern wieder die Elektrizitäten unter einer heftigen Lichtentwickelung. Diese Versuche wurden zuerst von Canton ausgeführt,[1]) aber mit Hilfe der Franklinschen Theorie nicht recht erklärt. Die Erklärung rührt von Rieß her.

54. Im Anschluß an diese Lichterscheinungen wollen wir uns den Erzeugungen von Licht an phosphoreszierenden Körpern, hervorgerufen durch Elektrizität, zuwenden. Der erste Körper, an welchem überhaupt die Phosphoreszenz wahrgenommen wurde, war der Bononische Stein, sogenannt weil er zuerst 1604 aus dem bei Bologna gefundenen Schwerspat hergestellt wurde. Dieser Stein hat die Eigentümlichkeit, nachdem er eine Zeitlang mit Tageslicht beleuchtet wurde, im Dunkeln dann mehrere Minuten hindurch blutrot zu leuchten. Der Zusammenhang zwischen Elektrizität und Phosphoreszenz wurde zuerst von Lane[2]) nachgewiesen. Da wir später Lane noch zu erwähnen haben, möge gleich hier über sein Leben bemerkt sein, daß er 1734 geboren wurde, später Apotheker in London war und als Mitglied der Roy. Soc. 1807 daselbst starb. Dieser Lane ließ im Finstern den elektrischen Entladungsfunken über ein Stück Marmor fahren, dann wurde dieses selbst leuchtend und behielt das Licht eine Zeitlang bei. Nun setzte er an die Stelle des Marmor verschiedene Körper und fand, daß alle kalkhaltigen Körper die Eigenschaft zeigen und auch Papier, Dachziegel und Backsteine, so hatte er denn auch die wichtige Thatsache ent-

1) Priestley, Geschichte der Elektrizität pag. 190.
2) Priestley, Geschichte der Elektrizität pag. 197.

deckt, daß durch Elektrizität viele Körper phosphoreszierend werden, die dem Sonnenlicht gegenüber sich absolut unempfindlich zeigen. Um so mehr war Lane berechtigt zu vermuten, daß die Elektrizität hierbei die Hauptrolle spiele, allein Canton wieß bald nachher nach, daß nur das Licht, nicht die Elektrizität die Ursache des Leuchtens sei. Allein seine Deduktion war durchaus nicht unbedenklich, und so fand Canton nicht allgemeine Anerkennung mit seiner Ansicht, erst Thomas Johann Seebeck, der allgemein bekannte Entdecker der Thermoelektrizität, 1770 zu Reval geboren, gest. 1831 zu Berlin, bewies[1]) streng, daß die Wirkung des elektrischen Lichtes auf die phosphoreszierenden Körper nicht anders sei, wie die des Sonnenlichtes.

Man stellte diese phosphoreszierenden Körper auch künstlich her, wie ja schon der Bononische Stein ein Kunstprodukt war, am berühmtesten wurde damals der Cantonsche Phosphor, aus gebrannten Austernschalen und Schwefelblume in einem Tiegel bei mäßigem Hitzegrad hergestellt. Durch spätere Untersuchungen Heinrichs, eines Benediktiners, welcher 1758 geboren, und 1825 zu Regensburg als Professor am Lyceum und Kapitular der Kathedralkirche daselbst, wurde bewiesen, daß die künstlichen Phosphore diese Erscheinung stärker zeigen, wie die natürlichen, und daß alle Verbindungen von kohlensaurem Kalk besser phosphoreszieren, wenn auch kürzere Zeit als die flußsauren. Durch Heinrichs Versuche[2]) wurde der Parallelismus zwischen Sonnenlicht und elektrischem Licht durchweg glänzend bestätigt. Die Phosphoreszenz zeigt sich dann nicht nur durch Beleuchtung hervorgerufen, sondern bei einzelnen auch durch Erwärmung, bringt man aber die Körper zum Glühen, so verlieren sie die Eigenschaft der Phosphoreszenz gänzlich. Dessaignes aber entdeckte, daß diese geglühten Körper die Phosphoreszenz wieder bekommen, wenn man elektrische Entladung durch sie hindurch schickt. Diese

1) Wirkung farbiger Beleuchtung in Goethe: Zur Farbenlehre II. 1810, pag. 708.

2) Die Phosphoreszenz der Körper, Nürnberg 1811—20 (5. Abt.) und die Abhandlungen über Phosphoreszenz in Schweiggers Journal, XIII. 1814, XXIX u. XXX. 1820.

Entdeckung wurde von Heinrich und Grotthus bestätigt und von Pearsall[1]) wurde diese Wirkung der elektrischen Entladung mit Erfolg auf eine ganze Reihe anderer im gewöhnlichen Zustande nicht phosphoreszierender Körper angewandt, sowie bei den an und für sich phosphoreszierenden Körpern durch die häufigere Einwirkung eines Entladungsfunken entweder die Farbe vermindert, oder die Stärke des Lichts vermehrt wurde. Diese Erscheinung findet im Sonnenlicht kein Pendant. Brewster hat nachgewiesen, daß selbst das durch eine Sammellinse konzentrierte Sonnenlicht einem Flußspat die durch Glühen verlorene Phosphoreszenz nicht imstande war wiederzugeben.[2])

Eine andere Art von Phosphoreszenz glaubte Wilke erfunden zu haben,[3]) als er nämlich zwei Stücke Glas an einander rieb, bemerkte er ein lebhaftes phosphorähnliches Licht, welches an dem Orte, wo es erzeugt war, festsaß, und keine Strahlen ausschickte, daraus schloß er, daß es ein Phosphor sei, das führte ihn zur Untersuchung des Glimmlichtes an Spitzen, welches er dadurch erhöhte, daß er die Spitzen mit englischem Phosphor überzog. Ein Analogon hierzu beobachtete Beccaria, daß dünne, luftleer gemachte Gläser, wenn sie im Finstern zerbrochen wurden, ein Licht von sich gaben, er fand endlich, daß dieses Licht nicht durch das Zerbrechen entstanden sei, sondern durch das Anprallen der Luft an die innere Seite, er fand ein gleiches Leuchten, wenn er ein solches luftleer gemachtes Gefäß unter den Rezipienten einer Luftpumpe brachte und dann plötzlich in den Rezipienten wieder Luft einströmen ließ, dann prallte die Luft gegen die äußere Wand.[4])

55. Giacomo Battista Beccaria war geboren 1716 zu Mondovi, trat in den Orden der frommen Schule und wurde 1748 Professor der Physik in Turin, wo er 1781 starb. Diesem Beccaria verdanken wir eine große Anzahl Untersuchungen;

---

1) Poggendorff, Annal. 20 und 22. 1830 u. 31.
2) Poggendorff, Annal. 20.
3) Priestley, Geschichte etc. pag. 193.
4) Priestley, Geschichte etc. pag. 196.

sein Vaterland lernte durch ihn eigentlich erst die Elektrizität kennen. Neben einer Reihe in Turin erschienener Monographien finden sich auch in dem Phil. Transact. eine Reihe sehr wertvoller und umfangreicher Arbeiten. Außer mit der Gradmessung hat er sich nur mit Elektrizität beschäftigt. Er suchte unter andern den Erdmagnetismus durch einen elektrischen Strom um die Erde herum zu erklären und meinte, daß die Donnerkeile ihren Namen davon hätten, daß oft Blitze die Körper, welche sie träfen, in einen glasigen Zustand überführten[1]). Er war der Erste, welchem es gelang, auch Siegellack-Scheiben stark zu laden, er stellte dann eine ganze Reihe solcher Scheiben auch von anderen Körpern her[2]). Am wichtigsten sind seine Versuche über die Ladung einer Glastafel, welche er 1769[3]) veröffentlichte.

Zunächst zeigte Beccaria, daß auch die Leiter der Elektrizität dem Durchgange derselben einen Widerstand entgegensetzten und daß Leiter und Nichtleiter nur durch die Größe dieses Widerstandes verschieden seien, so brachte er sogar im Wasser eine elektrische Funkenentladung zustande, welche so heftig war, daß die engen Röhrchen mit Wasser, in welches zwei Leitungsdrähte bis dicht vor einander hineinragten, mit grossem Knall auseinanderstieben[4]). Dann wiederholte er die Franklinschen Versuche mit der Glastafel und machte zunächst die Bemerkung, daß, wenn eine Glastafel geladen wird, dann der Metallbeleg der einen Seite vorsichtig entfernt wird, darauf eine Glasscheibe dicht auf diese Seite gelegt wird und derselben auf der freien Seite eine Metallbelegung mitgeteilt wird, so erfolgt eine kräftige Entladung, wenn man die beiden nun an den Außenseiten der beiden Glastafeln liegenden Metallscheiben miteinander in leitende Verbindung bringt. Beccaria wollte damit zeigen, daß die Elektrizität nicht auf der Metallbelegung hafte, sondern auf der Oberfläche des Glases. Eine spätere Untersuchung, welche er

1) Fischer, Geschichte V. 614 ff.
2) Fischer, Geschichte V. 744.
3) Experimenta et observationes, quibus electricitas vindex . . . explicatur 1769.
4) Priestley, Geschichte etc. pag. 134.

in der schon citierten Schrift 1769 veröffentlichte, sollte diese seine Ansicht durchaus beweisen.

Im Jahre 1762 hatte Wilke sehr eingehende Untersuchungen über die Franklinsche Tafel veröffentlicht[1]). Um alle Teile der Tafel einzeln und genau untersuchen zu können, hatte Wilke die Metallbelegungen so hergestellt, daß sie abnehmbar waren, und hatte die Anordnung der Elektrizität so gefunden, wie sie richtig ist. Er hatte anfänglich versucht, als Anhänger der Franklinschen Theorie diese Erscheinungen zu erklären, geriet aber in nicht geringe Schwierigkeiten. Beccaria wiederholte nun diese Versuche, und obwohl er die Symmersche Theorie von den beiden Elektrizitätsarten an eigenen Versuchen als richtig erkannt hatte, schloß er sich doch bei Erklärung dieser Versuche Franklins Theorie an. Er behauptete, der elektrische Zustand der Belegung rühre von einem wirklichen Übergang der Elektrizität aus der Glasscheibe auf die Belegung oder von dieser in die Glasscheibe her, so zwar, daß die + Glasoberfläche zunächst an die Metallbelegung + Elektrizität abgebe, während die zweite Belegung der ihr gegenüberliegenden Glasfläche ebensoviel Elektrizität wiedergebe, bei jeder Entladung erhalte dann die Glasfläche von der + Belegung soviel wieder zurück, wie sie selbst der negativen wiedergebe, das geschehe aber nicht auf einmal, sondern successive, sodaß anfangs weniger, bei späteren Entladungen mehr Elektrizität zurückgegeben werde, bis endlich die Glasplatte wieder in ihren anfänglichen Zustand übergeführt werde. Diese Elektrizitätsverschiebung nannte er Electricitas vindex. Diese Erklärung wurde von Wilke in allen ihren Teilen widerlegt, doch davon später. Ehe Wilke seine vorzügliche Arbeit schrieb, veranlaßte Beccarias Erklärung einen Landsmann von ihm gegen dieselbe Front zu machen, ohne sie jedoch ganz zu widerlegen, dabei aber eine Erfindung zu machen, die für die ganze Lehre der Elektrizität von größter Wichtigkeit wurde.

56. Alessandro Volta war geboren 1745 zu Como, wurde 1774 Professor der Physik am Gymnasium zu Como, 1779 an

---

1) Abhandlungen der Schwedischen Akad. der Wissenschaften 24, und Fischer, Geschichte VIII. 280.

der Universität Pavia bis 1804, wo er seinen Abschied nahm. Von Napoleon zum Grafen und Senator von Italien ernannt, wurde er 1815 von Kaiser Franz zum Direktor der philosophischen Fakultät der Universität Padua ernannt und starb 1827, geehrt und hochgeschätzt, als Mitglied vieler wissenschaftlichen Gesellschaften.

Voltas erste Schrift, 1769, beschäftigt sich bereits mit Elektrizität und zwar mit der Anziehung; schon in seiner zweiten von 1771 lehnt er sich gegen Beccaria auf und giebt in dem „lettere diverse sull' elettroforo perpetuo" [1]) die Beschreibung seines Apparates, welchen er unter dem Namen elettroforo perpetuo überall mit viel Beifall aufgenommen sah. Er verband die Wilkesche Idee mit den beweglichen Belegungen einer Glastafel mit der Beccariaschen Konstruktion von Siegellack- und Harzkuchen, welche elektrisch gemacht werden konnten. Sein Elektrophor besteht 1) aus einer runden und glatten metallischen Form, welcher der Teller oder piatto = Schüssel oder Form genannt wird, 2) aus einer dünnen Scheibe oder Tafel von nichtleitender Materie, Glas, Harz, Pech, Schwefel etc., welche der Kuchen genannt wird, und 3) aus einer an seidenen Schnüren befestigten Metallplatte, welche der Deckel oder Oberscheibe genannt wird [2]).

Die Form besteht aus einer reinen Metallplatte, oder aus einem mit Stanniol überzogenen trockenen Brette, welche am Umfange rund herum einen etwa 1^{cm} hohen Rand hat, um das Abfließen des Harzes beim Hineingießen zu verhüten; der Kuchen muß ebenso hoch wie der Rand des Tellers sein, darf diesen aber nicht überragen, muß eine vollkommen glatte Oberfläche ohne Risse und Blasen haben, und seine untere Fläche muß sich der oberen des Tellers genau anschließen.

Zum Kuchen wählte Volta eine zusammengeschmolzene Masse aus drei Teilen Terpentin, zwei Teilen Harz und einem Teil Wachs, welche zusammengeschmolzen und zuletzt mit Mennige versetzt wurden. Am besten eignen sich die spröden Harze, Schellack und Kolophonium dazu, und die Zusetzung von

1) Scelta di opuscoli di Milano, 1775 VIII u. XII, 1776 XIV u. XX.
2) Fischer, Geschichte VIII. 283.

Wachs und Terpentin dient nur dazu, das Springen der Masse zu verhüten. Um diese Herstellung möglichst gut zu bewerkstelligen, schmelzt man erst die am schwersten schmelzbare Substanz und setzt die anderen unter beständigem Umrühren hinzu. Ist alles gut flüssig, so giebt man die Masse durch ein grobes Leinentuch und gießt sie in die wagerecht gestellte Form, welche leicht erwärmt wird. Während die Masse nun langsam erkaltet, läßt man in der Entfernung von 1^{cm} ein stark erhitztes Eisenblech horizontal darüber ruhen, sodaß die Oberfläche ganz spiegelglatt wird. Auf diese Weise kann man auch leicht beschädigte Kuchen wieder reparieren.

Endlich der Deckel wird aus Metallblech hergestellt und muß im Durchmesser etwa 4 bis 5^{cm} kleiner sein wie der Kuchen, bei sehr großen Apparaten stellt man ihn auch wohl aus einem mit Leinen überspannten Holzbügel her und überzieht das Leinen sorgfältig mit Stanniol, den Deckel versieht man dann mit einem isolierenden Griff oder hängt ihn an Seidenschnüre.

Die Größe dieser Apparate ist sehr verschieden, man stellte bald sehr große Apparate her; so ließ sich der berühmte Lichtenberg einen Kuchen von 7 Pariser Fuß Durchmesser, $1^1/_2$ Zoll Dicke und 56 Pfund Schwere herstellen, der Deckel hatte 6 Fuß Durchmesser und war aus massivem Zinn, sodaß er 76 Pfund wog, man mußte ihn mit einem Flaschenzuge abheben; einen noch größeren Apparat baute sich der Direktor des physikalischen Kabinetts in Wien, Herr v. Eberle, aber die Vorteile solcher Riesen-Elektrophore werden durch ihre Nachteile wieder aufgewogen; am geeignetsten bleiben immer Kuchen bis zu 30^{cm} Durchmesser.

Eine wesentliche Vereinfachung rührt von Cavallo[1]) her, der sich auch um die Versuche Wilsons, Watsons und Smeatons große Verdienste erworben hat. Cavallo war eigentlich Italiener, geboren 1749 zu Neapel, ging dann nach London, um Banquier zu werden, aber kam hier in wissenschaftliches Fahrwasser und starb als Mitglied der Roy. Soc. 1809 in London. Cavallo nahm als Kuchen eine mit einer Mischung aus Harz, Siegellack und Schwefel überzogene Glas-

1) Fischer, Geschichte VIII. 285.

scheibe, welche er entweder direkt auf den Tisch legte oder auf eine Zinnplatte, und benutzte als Deckel einen Apparat wie Volta. Cavallos Elektrophor ist so der Vorläufer unserer heute so beliebten Hartgummiplatten, welche auch direkt auf den Tisch gelegt werden oder an ihrer unteren Seite mit Stanniol überzogen sind.

57. Während Volta so den Apparat erfunden hat, hatte Wilke schon 1762 seine Theorie gegeben, denn die Wirkungsweise ist keine andere wie die der Franklinschen Tafel. Wilke benutzte infolge dessen auch das Elektrophor zur Fortsetzung seiner Versuche und hat in einer noch heute höchst wertvollen Abhandlung[1] die vollständige Theorie desselben gegeben, der durch alle späteren Untersuchungen fast nichts hinzugefügt ist. Ja Wilke hatte schon in seiner ersten Arbeit angeführt, daß die Glasscheibe mit den beweglichen Belegungen viele Tage, ja Wochen lang die Elektrizität durch Influenz erzeuge, nachdem sie einmal geladen war. So müssen wir denn Lichtenberg recht geben, der die Ehre der Erfindung des Elektrophor Wilke zuschreibt[2]. Voltas Verdienste um die Wissenschaft bleiben noch groß genug, wenn wir ihm hier auch nicht die Palme zuerkennen können.

Ich habe schon erwähnt, daß Wilke bei seiner ersten Erklärung 1762 mit Hilfe der Franklinschen Theorie auf Schwierigkeiten stieß. In dieser zweiten Arbeit gab er die unitarische Theorie ganz auf und unterschied zwei Elektrizitätsarten, indem er die Franklinsche + Elektrizität Feuer, die — Elektrizität Säure nannte. Wir wollen uns der Bezeichnung Lichtenbergs anschließen, welcher diese beiden Namen wieder fallen ließ. Lichtenberg schloß sich der Symmerschen Auffassung an, aber bemerkt dann, das schließe nicht aus, daß wir die sehr geeigneten Bezeichnungen positiv und negativ gebrauchen, und zwar die an poliertem, durch ein Haarkissen geriebenem Glase erzeugte Elektrizität die +, die entgegengesetzte die — nennen.[3])

1) Abhandlungen der schwed. Akad. der Wissenschaften 29, 1777.

2) Fischer, Geschichte VIII. 280.

3) Commentat. Soc. Reg. Scient. Gotting. p. a. 1778. T. I. Lichtenberg super nova methodo motum ac naturam fluidi electr. invest. pag. 69.

Wilke machte den Kuchen durch Reiben mit einem ledernen Kissen negativ elektrisch auf seiner Oberfläche; setzt er nun den Deckel auf, so bilden sich auf ihm zwei entgegengesetzt elektrische parallele Schichten, die positive dem Kuchen zugewandt, die negative nach oben liegend, das bewies er durch folgenden Versuch. Er befestigte zwei Metallscheiben durch kurze seidene Schnüren so aneinander, daß dieselben parallel unter einander hängen, die obere versah er mit einem gläsernen Griff. Legt er diese Doppelscheibe als Schild auf den Kuchen, sodaß sie sich gegenseitig berühren, hebt nun mittels des gläsernen Griffes, ohne die Scheiben zu berühren, dieselben ab, sodaß sie von einander getrennt werden und die untere an der oberen mittels der Seidenschnüren hängt, so zeigt die untere positive, die obere negative Elektrizität, berührt man aber vor dem Abheben, so hat die obere nach der Trennung gar keine, die untere positive Elektrizität. Hat man nun statt dieser Doppelscheibe einen gewöhnlichen Deckel, so wird, wenn man das Berühren vor dem Abheben vergißt, der Deckel keine Elektrizität zeigen, da die positive auf der unteren und die negative auf der oberen Seite sich wieder vereinigt haben, berührt man vor dem Abheben die obere Seite, so wird nach demselben die + Elektrizität sich über den ganzen Deckel verbreiten und jeder Punkt desselben wird + Elektrizität zeigen.

Doch wie verhält sich der Kuchen? Auf der oberen Fläche haben wir durch Reiben — Elektrizität erzeugt. Da der Kuchen nicht leitet, influenziert diese auf die untere Fläche und teilt da zwei Schichten ab, die + nach dem inneren zu, die negative nach außen drängend, sodaß eine isoliert aufgehangene Harzscheibe in drei Schichten zerfällt — oben, + in der Mitte, — unten, daß dies so sei, glaubte erst Rieß[1]) bewiesen zu haben. Liegt nun die Platte auf einem Leiter, so wird die — Elektrizität der unteren Fläche abgeleitet und es bleibt die + auf der unteren Fläche angehäuft, sodaß dann der Kuchen in zwei Schichten oben —, unten + zerfällt, diese beide üben eine anziehende Wirkung auf einander aus, sodaß sie sich gegenseitig festhalten und bei der großen ebenen Oberfläche ein Entweichen

1) Rieß, Reibungselektrizität I. pag. 295.

verhindern. Ja, nimmt man eine Elektrizitätsart fort, so wird dieselbe durch die zurückbleibende wieder erzeugt. Setzt man nun den Deckel auf, so wird die + Elektrizität der unteren Fläche desselben auf die negative der oberen Kuchenfläche anziehend wirken und nicht nur dadurch die Trennung im Harzkuchen befördern, sondern auch eine Ableitung an die Luft verhindern, zwischen einzelnen Punkten des Kuchens und des Deckels wird allerdings ein Austausch, d. h. eine Entladung stattfinden, doch findet sie nur in einzelnen Punkten, die sich eben fest berühren, statt, nicht für den ganzen Kuchen, da der nichtleitet, daher erklärt sich denn, wie ein so bedeckter Harzkuchen wochen- ja monatelang die Elektrizität behalten kann. Ich habe eine Hartgummiplatte, welche bedeckt war, noch nach einem Jahre so stark elektrisch gefunden, daß ich mit einem Funken aus dem Deckel eine Gasflamme entzünden konnte. Ist der Teller etwas dicker wie gewöhnlich, so findet auch auf ihm eine Influenz statt durch die Elektrizität der oberen Kuchenfläche, diese wirkt aber nur verstärkend.

58. Während diese bisher von mir dargestellte Theorie wesentlich von Rieß ausgebildet ist, hat in unseren Tagen von Bezold[1]) eine andere Erklärung des Elektrophors gegeben, welche die drei Elektrizitätsschichten des Kuchens vermeidet; er sagt, durch das Reiben wird die eine Fläche des Kuchens elektrisch, und zwar negativ, diese influenziert die Form des Kuchens, dadurch wird auf der oberen Seite der Form +, auf der unteren — Elektrizität sich befinden, letztere wird abgeleitet, und ein Teil der + Elektrizität der Form geht in einzelnen kleinen Funken über auf die Rückseite des Kuchens, daher zeigt diese beim Umkehren + Elektrizität.

Daß dies so ist, beweist v. Bezold durch die Überlegung, daß die Versuchsanordnung von Rieß zu keinem richtigen Resultat führen kann, da die Influenzierung störend wirkt, und durch direkte Versuche mit dem elektrischen Pulver. Dies Pulver wurde erfunden im Anschluß an die Versuche Lichtenbergs über die nach ihm benannten Figuren von Villarsy.

---

1) Sitzungsberichte der Münchener Akademie 1870, Sitzung vom , und 1871, Sitzung vom 7. Januar.

59. Lichtenberg wurde am 1. Juli 1742 (resp. 1744) zu Ober-Ramstädt bei Darmstadt geboren, studierte seit 1763 zu Göttingen und wurde dort 1770 Professor, 1774 Mitglied der Gesellschaft der Wissenschaften und später mehrerer gelehrter Gesellschaften, so 1795 der Petersburger Akademie; er starb am 24. Juli 1799 an den Folgen einer Brustfellentzündung. Obwohl er stets sehr schwächlich war, hat er durch die großartige Vielseitigkeit seines Wissens und seine vorzügliche Charakterfestigkeit seinen Namen zu einem der berühmtesten des vorigen Jahrhunderts gemacht. Er stand hoch nicht nur als Physiker, sondern auch als Philosoph und Litterat, sodaß ein Kritiker unserer Tage von ihm sagt: man sollte niemals von Lessing sprechen, ohne zugleich Lichtenbergs zu gedenken. Seine satyrischen Schriften sind noch heute eine Fundgrube scharfen aber treffenden Witzes und kritischer Sentenzen. Was uns speziell an ihm interessiert, sind seine Verdienste um die Elektrizität. Ich habe schon erwähnt, daß er der bedeutendste Verfechter der dualistischen Theorie war und die Bezeichnung + und − Elektrizität für diese Anschauung zur allgemeinen Annahme brachte. Seine Verdienste um das Elektrophor hängen zusammen mit den Staubfiguren, welche er in der schon von mir citierten Abhandlung publizierte.[1])

Lichtenberg setzt auf den erregten Elektrophorkuchen einen dreischenkligen Zirkel und giebt diesem einen Funken vom positiven Konduktor, nimmt dann mit einem Isolator den Zirkel ab und bestreut den Kuchen mit feinem Harzstaub durch ein leinenes Tuch gesiebt, dann ist der Staub um die Stellen, wo der Zirkel stand, stachlig nach Form eines Sterns angeordnet, während der übrige Teil des Kuchens vom Staub frei ist. Dreht man nun den Kuchen um, sodaß die + Elektrizität oben ist, und giebt durch den Zirkel negative Elektrizität an die Stellen, wo die Spitzen stehen, dann ist der Kuchen bedeckt und die Stellen frei.

Diese Entdeckungen führten dann zur Untersuchung der elektrischen Natur der pulverförmigen Körper, besonders war

---

1) Novi commentarii Soc. Reg. Scienti. Götting. T. VIII ad. an. 1777 und T. I ad an. 1778.

es Cavallo[1]), welcher in dieser Richtung thätig war. Er fand, daß Harz und Schwefelpulver beim Durchsieben durch das Tuch negativ elektrisch werden, und erklärte dementsprechend die Lichtenbergschen Figuren aus der Anziehung und Abstoßung, welche zwischen elektrischen Körpern stattfindet, woraus sich die Anordnung des Staubes dann von selbst ergiebt. Andere Pulver werden + elektrisch beim Durchsieben, wie Bennet[2]) an Eisenfeilicht, Vassalli an verschiedenen Metallpulvern fand. Auf die vielfachen Versuche hierüber näher einzugehen möchte überflüssig erscheinen, da allgemeine Gesichtspunkte dabei nicht mehr gewonnen sind, nur Spezialkenntnisse; ich verweise hierfür auf: Rieß' Reibungselektrizität II, 394 ff.

60. Nur Villarsys Entdeckung[3]) will ich noch erwähnen. Er fand nämlich, daß während der elektrische Charakter einzelner Pulver beim Durchsieben niemals so absolut über allen Zweifel erhaben war, jeder Zweifel ausgeschlossen ist, sobald man ein Gemisch aus Schwefelblume und Mennige durch ein Musselintuch siebt, dann ist stets der Schwefel —, die Mennige + elektrisch, sodaß dann bei den Lichtenbergschen Figuren erster Art der Kuchen allgemein rot mit Mennige bedeckt erscheint, die Sterne gelb, und bei der zweiten Art der Kuchen gelb und die Stelle der Spitzen rot. Ich sage das zweite Mal nicht wieder Stern, da diese negativen Stellen als kreisrunde Flecken ohne stachlige Struktur erscheinen.

Da ich später keine Gelegenheit habe, auf die zwei eben genannten Männer zurückzukommen, sei an dieser Stelle über ihr Leben kurz folgendes mitgeteilt. Abraham Bennet war Mitglied der Royal Soc., obgleich er von Hause aus Pfarrer war. 1750 geboren, starb er schon 1799 als Prediger zu Bentley bei Ashborne. Villarsy war 1745 geboren und studierte Medizin, als Arzt war er zu Grenoble thätig, dann wurde er daselbst Professor der Naturgeschichte und starb 1814 als Professor der Botanik in Straßburg.

Das „elektrische Pulver“ diente v. Bezold zur Unter-

1) Philos. transact. 1780.
2) Philos. transact. 1787.
3) Journal général de France 1788. Physikal. Abhandlgn. d. königl. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1846, pag. 5.

suchung des Elektrophors. Er bestreute mit diesem Pulver das Elektrophor; nun läßt sich freilich nicht sagen, daß an den Stellen, wo das negative Schwefelpulver haftet, positive Elektrizität auf der Oberfläche gewesen ist, es kann auch die gegenüberliegende Stelle der hinteren Fläche + elektrisch sein und zieht durch Fernewirkung das — Pulver an, da entscheidet die Struktur des Pulvers den Charakter der Stelle. Ist die Platte durch Reiben elektrisch geworden, so ordnet sich das Pulver streifig, ist ein Funken auf das Elektrophor gekommen, so strahlig, wenn der Funken +, kreisrund, wenn er — gewesen; ist aber die Fläche, worauf das Pulver fällt, nicht selbst elektrisch, sondern wirkt die gegenüberliegende Fläche, so ist ein größerer Teil der vorderen Fläche gleichmäßig mit Pulver behaftet. Daß v. Bezolds Erklärung richtig ist, kann man auch sehr leicht ohne besonderes Elektrophor erkennen. Reibt man nämlich eine Hartgummiplatte, welche einfach auf den Tisch gelegt ist, und kehrt sie nach dem Reiben um, bestreut sie dann mit dem Pulver, so zeigt sich ganz lebhaft, wie die + Elektrizität aus der Tischplatte in einzelnen Funken auf die Hartgummiplatte übergegangen ist, während die Seite selbst gar keine Elektrizität oder nur sehr geringe zeigt.

Die geringe Reibung des Pulvers an dem Musselin genügt hier, um Elektrizität zu erzeugen, eine noch geringere Reibung, die nämlich beim Ausfließen einer Flüssigkeit durch den Widerstand der Luft bedingte, erzeugt oft auch schon Elektrizität. So fand Lichtenberg, daß ausfließendes Wasser an der isolierten Platte worauf es fiel, Elektrizität zu erzeugen imstande sei. Diese Versuche wurden mehrfach wiederholt und führten später zur Elektrizitätserzeugung durch Verdampfung, worauf ich am geeigneten Orte eingehen werde.

Lichtenberg zeigte ferner, daß die Staubfiguren nur gut gelingen, wenn eine discontinuierliche Entladung stattfindet; sobald die Luft verdünnt wird, durch welche der Staub fällt, verwischen sich die Unterschiede zwischen + und — Figuren. Die Luft spielt hierbei eine Hauptrolle, das erkannt zu haben ist ein Verdienst Faradays,[1]) welcher zeigte, daß auch ein feuchter

1) Experi. research. § 2129.

Luftstrom die Elektrophorplatte negativ lade. Man kann ebenfalls nach Lichtenberg auch Bilder auf dem Elektrophorkuchen erzeugen, indem man eine leitende Form als Muster des Bildes, welches erzeugt werden soll, auf denselben legt, und diese Form mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine in leitende Verbindung setzt. Dann wird den Stellen, welche den Kuchen berühren, die betreffende Elektrizität des Konduktors mitgeteilt und beim Bestreuen des Kuchens nach Abheben der Form, mit Semen lycopodii oder sonst einem unelektrischen Pulver, wird dasselbe an den Stellen haften, wo die Form die Elektrizität übertrug. Übermäßig deutlich pflegen diese Bilder nicht zu sein!

Eine konsistentere Sorte von elektrischen Figuren fand Priestley 1766.[1]) Er ließ die Elektrizität aus einer spitzen Messingstange auf eine flache Messingplatte, durch Funkenentladung übergehen, und fand, daß nach etwa 30 bis 40 Explosionen die der Spitze gegenüberliegende Stelle um einen Zentralfleck herum in einer Ausdehnung bis zu ein Zoll Durchmesser in den prismatischen Farben, ringförmig gruppiert, erglänzte bei Untersuchung mit der Loupe, während dem unbewaffneten Auge nur der grüne oder blaue Rand sichtbar zu sein pflegte. Die Anordnung der Farben war innen violet, außen rot, und wiederholte sich zwei bis dreimal. Die Deutlichkeit war außer von der Stärke der Ladung auch von der Distanz der Spitze und Schärfe der Spitze abhängig. Es war aber gleichgültig ob die Spitze + oder — elektrisch war, nimmt man statt der Platte und Spitze zwei Kugeln, so entstehen auf beiden die Ringe, aber sehr viel schwächer. Priestley erklärte diese richtig als Oberflächenfarben im Sinne der Newtonschen Farben an Schlacken oder angelaufenem Stahl. Man hat es da mit einer Oxydation zu thun.

61. Priestley war 1733 zu Fieldhead bei Leeds geboren, studierte alles mögliche, besonders Theologie, führte ein sehr wechselvolles Leben, indem er bald Dissenter Prediger, bald Lehrer war. 1791 zwang ihn ein Volksauflauf in Birmingham, wo er derzeit Prediger war, wegen seiner Freisinnigkeit diese

1) Priestley, Geschichte d. Elektr. pag. 466 ff.

Stadt zu verlassen, er zog sich nach Hackney bei London zurück, um 1794 Europa überhaupt den Rücken zu kehren, und starb 1804 in Northumberland in Pennsylvanien. Priestley ist unvergeßlich durch seine chemischen Untersuchungen, obwohl er von sich selbst glaubte, daß er ein größerer Physiker als Chemiker sei, als Physiker ist seine bedeutendste Leistung seine Geschichte der Elektrizität, die allerdings etwas chauvinistisch für die Engländer geschrieben ist.

In dieser Geschichte findet sich übrigens noch eine Methode erwähnt, durch Elektrizität Newtonsche Farbenringe zu erzeugen.[1]) Es ist das von Beccaria gemachte Experiment mit zwei Franklinschen Tafeln. Beccaria legte zwei Glastafeln aufeinander und überzog sie beide außen mit Stanniolbelegung; lud er nun die Belegungen beide, so sah er um den Rand der Belegungen sich die Newtonschen Ringe bilden, welche beim Entladen wieder verschwanden. Beccaria glaubte darin eine Bestätigung seiner Elektrizitätstheorie zu finden, von welcher ich oben schon ausführlich gehandelt habe.

62. Beccaria hat übrigens wesentliche Verdienste um die Erforschung der Luftelektrizität. Ich habe schon erwähnt, daß Franklin Cantons und Le Monniers Beobachtung, daß die Luft stets elektrisch sei, selbst wenn der Himmel wolkenlos war, bestätigt fand. Ausführlicher wurden diese Beobachtungen von Kinnersley in Philadelphia ausgeführt, doch bei weitem übertroffen durch Beccarias Beobachtungen. Seine Resultate, die er in den Lettere dell' Elettricismo bekannt machte, lassen sich kurz zusammenfassen darin, daß die Luft stets elektrisch und zwar gewöhnlich + ist, nur bei drei Umständen konnte er keine Elektrizität constatieren, das war 1) bei sehr windigem klaren Wetter, 2) wenn der Himmel mit abgesonderten, schwarzen Wolken bedeckt war, die eine sehr geringe Bewegung hatten, und 3) bei sehr feuchter Luft, wenn es nicht regnete.[2]) Er fand auch, daß es nicht nötig sei, wie Franklin gethan hatte, eine Spitze aufzurichten, sondern, daß es ausreiche einen Draht horizontal isoliert aufzuspannen, an einer 1500 Pariser Fuß

1) Priestley, Geschichte d. Elektr. pag. 170.
2) Priestley, Geschichte d. Elektr. pag. 231 ff.

langen über den Po geführten Schnur. Beccaria wollte nun mit der Luftelektrizität alle meteorologischen Erscheinungen erklären, so Regen, Hagel und Schnee, indem immer die Elektrizität die Ursache sei, daß die in der Luft befindlichen Dunstkügelchen sich zu einem Tropfen vereinten, sodaß bei starker atmosphärischer Elektrizität die Regentropfen dick würden, bei geringer aber fein, der Hagel solle dann daher kommen, daß dieses Zusammenziehen in den hohen Luftregionen stattfinde, wo die Temperatur sehr niedrig und die Menge der vorhandenen Elektrizität sehr groß sei, sodaß die Anziehung der Teilchen eine sehr starke sei, Schnee aber entstehe, wenn die Zusammenziehung bei geringer Elektrizität vor sich gehe. Ja Beccaria nahm keinen Anstand zu behaupten, daß auch die übrigen meteorologischen Erscheinungen auf elektrischer Einwirkung beruhten, so die Sternschnuppen, die Wasserhosen etc. Da von alle diesen Vermutungen nichts bewiesen und bestätigt ist, darf ich sie wohl übergehen.

63. Wichtiger sind die in diesem Zeitabschnitt angestellten Versuche zur Erklärung der Entstehung der Gewitterelektrizität. 1780 hatten Lavoisier und la Place[1]) ihre Versuche über Verdampfen des Wassers angestellt und gefunden, daß wenn sie Wasser in einem Metallgefäße zur Verdunstung brachten, das Gefäß stets negativ elektrisch wurde, der Dampf aber +. Volta spritzte 1782 auf eine glühende Kohle Wasser und fand, daß bei der dann folgenden Verdampfung die Elektrizitätserregung in demselben Sinne erfolgte. Damit meinte man die Ursache der atmosphärischen Elektrizität gefunden zu haben, und legte sie in die Verdampfung, zumal schon von Franklin und Kinnersley beobachtet war, daß die Elektrisierung des Wassers die Verdunstung befördert. Auch die Entstehung negativer Elektrizität in der Luft glaubte man nachgewiesen zu haben, seit Gardini[2]) in Mantua 1792 gezeigt hatte, daß beim Verdampfen des Wassers auf rotglühendem Eisen, wenn dasselbe rostig war, positive Elektrizität, wenn es glatt war, negative Elektrizität am Eisen erhalten wurde.

---

1) Phil. Transact. 1782, pag. 274.
2) Fischer, Geschichte VIII. pag. 398.

Allein, daß die Verdunstung des Wassers nicht die Ursache sei, ist später (1827) von Pouillet[1]) unzweifelhaft nachgewiesen, doch war auch dessen Erklärung nicht richtig. Er wollte die Elektrizität durch chemische Trennung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff erklären, erst Reich und Rieß fanden 1846 die wahre Ursache in der Reibung, indem destilliertes chemisch reines Wasser beim Verdunsten niemals Elektrizität erregte, sobald aber in den Tiegel Sand oder sonst scharfzackige Körper geworfen wurden, fand die Erregung statt.[2]) Letzterer widerlegte auch Pouillet's Ansicht, daß die Vegetation eine besondere Quelle der Elektrizität sei, indem er in einem isolierten Glasgefäß von 109 Quadratzoll Oberfläche elfmal Kresse keimen ließ und die Elektrizität der feuchten Erde untersuchte, bis die Kresse 2 Zoll hoch geworden, er fand bald + bald — Elektrizität, aber auch das gleiche, wenn keine Kresse in dem Behälter war.[3])

Wenn so auch die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche und die dabei auftretende Reibung als eine der vornehmlichsten Quellen der Luftelektrizität nach allen angeführten Untersuchungen angesprochen werden kann, so sind wir damit noch lange nicht in der Lage, den so oft verschiedenen Charakter dieser Elektrizität zu erkennen, geschweige denn über die Entstehung des Gewitters etwas Zuverlässiges zu sagen. Es ist dies noch heute eine offene Frage, trotz aller Arbeiten, die zur Erkennung der Ursachen des Gewitters unternommen sind, und die ich, weil resultatlos, hier übergehe. Das einzige Resultat, welches durch den berühmten Dove festgestellt ist, befriedigt unser Bedürfnis sehr wenig: „daß nämlich bei jeder plötzlichen Bildung dichter Wolkenmassen die Ausbrüche von Donner und Blitz gleichzeitig auftretende begleitende Erscheinungen sind.“[4]) Die Beobachtungen zur Erforschung der Gewitterelektrizität werde ich im dritten Abschnitt zu besprechen Gelegenheit haben.

---

1) Poggendorff, Annal. 11.
2) Rieß, Reibungselektrizität II. pag. 407.
3) Rieß, Reibungselektrizität II. pag. 492.
4) Dove, meteorologische Untersuchungen, pag. 224.

64. Die Beobachtung der Gewitterelektrizität erforderte in erster Linie empfindliche Elektroskope, und in der That haben wir aus dem Schluß der Periode dieses Abschnittes einiger Erfindungen zu gedenken, die noch heute gebraucht werden. Das erste Elektroskop, welches nächst dem von mir schon erwähnten Quadrantelektroskop damals eine große Verbreitung erfahren hat, war das Voltas aus dem Jahre 1781.[1]) Zwei Strohhalme von zwei Daumen Länge und $^1/_4$ Linie Dicke, wurden an ihrem einen Ende mit einem feinen Loch versehen, ein dünner Silberdraht hindurchgesteckt und dann zusammengedreht, sodaß die beiden Strohhalme frei beweglich in einer Silberöse hingen; dieser Silberdraht ward dann mit einem festen Kupferdraht verbunden, der aus dem Holzdeckel eines viereckigen Glasgefäßes emporragte und an seiner Spitze einen runden Metallknauf trug. Den in das Glas hineinhängenden Strohhalmen gegenüber auf der Innenseite des Glases war ein Stanniolstreifen befestigt, der nach unten ging und durch den Boden des Gefäßes mit der Erde in leitende Verbindung gebracht war. Um die bei Elektrisierung des Knaufes entstehende Elektrizität messen zu können, war auf der Außenseite des Glases in entsprechender Höhe eine Einteilung auf Papierstreifen angeklebt.

Gleichzeitig mit diesem Strohhalmelektroskop, welches sich noch in fast allen älteren physikalischen Kabinetten findet, und wegen der hygroskopischen Natur der Strohs und dem dadurch bedingten Ankleben der Halme aneinander wenig geeignet ist zu dauerndem Gebrauche, trat ein anderes Elektroskop auf, welches heute noch einer der wichtigsten Apparate für den physikalischen Unterricht ist, das Goldblattelektroskop von Bennet.[2]) Das Goldblattelektroskop besteht, wie das Strohhalmelektroskop, aus einem Glasballon, von verschiedener Weite, aus welchem durch einen gut schließenden Deckel eine mit Knopf oder, wie wir gleich sehen werden, Kondensatorplatte versehene Zuleitungsstange, gewöhnlich aus Messing, die mit

1) Collezione dell' opere del Volta, Fierenze 1816. T. 1. pars II. lettera prima. pag. 8.

2) Phil. Transact. 1787. pag. 26.

einer Firnisschicht oder einer Glasröhre umhüllt ist, um die Abgabe der Elektrizität an die Luft zu vermeiden, und welche am unteren Ende, zwei mit Eiweiß angeklebte schmale Streifen Goldblatt trägt. Die leichte Beweglichkeit dieser Goldblättchen macht den Apparat sehr empfindlich, und ist er der zum Nachweise der Elektrizität am meisten gebrauchte, Messungen lassen sich aber auch hier nicht genau anstellen.

Ich sagte, daß die Untersuchung der Luftelektrizität solche Verbesserung der Apparate gefordert habe, eine weitere knüpfte Bennet an dies Elektroskop an. Bisher untersuchte man die Luftelektrizität, wie ich seiner Zeit ausgeführt habe, an hohen Stangen oder auch an Spitzen, die isoliert aufgestellt waren und direct mit dem Elektroskop verbunden wurden. Eine bedeutend höhere Empfindlichkeit erhält man durch die Flamme. Am 7. Dezember 1786 las Bennet vor der Roy. Societ. eine am 14. September verfaßte Abhandlung, die neben der Beschreibung seines Apparates noch die Mitteilung enthielt, daß die Empfindlichkeit durch ein auf den Knauf gestelltes Licht wesentlich erhöht werde. Und vom 23. Januar des folgenden Jahres an stellte Bennet Versuche in Betreff der Luftelektrizität damit an, welche die schwächste Elektrizität der Luft deutlich machten, und bewiesen, daß nicht nur die Luft stets elektrisch sei, sondern, daß sie sehr schnell ihren Charakter ändere. Bennet errichtete darauf eine 15 Fuß hohe Stange und stellte isoliert oben darauf eine brennende Laterne, diese verband er leitend mit seinem Elektroskop und konnte so die Luftelektrizität dauernd untersuchen. Fast gleichzeitig erkannte Volta dieselbe Spitzenwirkung der Flamme und schrieb 1787 im Juli darüber an Lichtenberg, indem er ihm ebenfalls die Flamme als Ersatz der gewöhnlichen Spitze anrät. Seit der Zeit ist es allgemein anerkannt, daß die Franklinsche Stange nur durch die Anbringung einer Flamme zu einer genauen Untersuchung der Luftelektrizität geschickt wird und an der zu Kew angebrachten Stange zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität brennt an der Spitze eine Lampe Tag und Nacht.

65. Lichtenberg ist übrigens für die Untersuchung der Luftelektrizität nicht unthätig gewesen, auch hier hat er fördernd eingegriffen. Er gab 1779 einen selbstthätigen Registrier-

apparat[1]) an, damit auch in den Zeiten, wo ein Beobachter nicht zugegen war, die Luftelektrizität bestimmt werden könne. Auf eine Zinnscheibe wird eine dünne Lage Schellack gebracht, diese Scheibe ist durch ein Uhrwerk um eine vertikale Achse drehbar. Auf der Schellackfläche ruht ein in einer Kugel endigender, leicht beweglicher, von dem unteren Ende einer Franklinschen Stange abgezweigter Arm, welcher für die Zeit der Anwesenheit des Beobachters in die Höhe gehalten werden kann. Entfernt sich dieser, so setzt er das Uhrwerk in Bewegung und läßt die Kugel auf dem Schellack schleifen, dann geht die Elektrizität der Stange durch die Kugel auf die Scheibe, bestreut man später diese Scheibe mit dem elektrischen Pulver, so ist man imstande, den Charakter der Elektrizität aus der Farbe, die Stärke aus der Ausbreitung des Pulvers zu bestimmen und aus der Zeit, welche dies Uhrwerk gebrauchte die Scheibe zu drehen hat man ein genaues Bild des Wechsels und der Dauer ein und derselben Elektrizität. Dieser Registrierapparat wird ebenfalls noch heute in Kew gebraucht.

66. Wenden wir uns nun wieder den Ansammlungsapparaten zu, von denen bisher nur die Kleistsche Flasche bekannt war. In diesem Zeitabschnitt erfuhr dieselbe eine Modifikation, sodaß sie zum Messen der Elektrizität gebraucht werden konnte. Erfunden wurde dieser Apparat von Timothy Lane,[2]) der als Apotheker und Mitglied der Roy. Soc. in London 1807 im Alter von 73 Jahren starb, 1767 publizierte er seine Erfindung. Um den Hals des Zuleitungsdrahtes zur inneren Belegung der Flasche, befestigte Lane unterhalb des Knaufes eine Glasröhre horizontal und bog sie am anderen Ende etwas in die Höhe, da trug dieselbe eine horizontale Messingstange, die am einen Ende einen Knopf hatte, welcher dem Knopfe des Zuleitungsdrahtes gerade gegenüber steht in derselben Horizontalebene, am anderen Ende hat die Messingstange einen Ring, in welchen eine Kette gehängt wird, die mit der äußeren Belegung der Flasche in leitender Verbindung steht. Diese horizontale Messingstange

---

1) Commentation. Soc. Gotting. 1779, super nova methodo motum ac naturam fluidi electr. ivest. 65.

2) Phil. Transact. 1767.

ist auf der Glasstange verschiebbar, sodaß der Knopf der äußeren Belegung der der inneren verschieden nahe gebracht werden kann. Wird die so zugerüstete Flasche geladen, so wird, sobald die Dichtigkeit so groß ist, daß der Widerstand der zwischen den Knäufen liegenden Luftschicht überwunden werden kann, eine Funkenentladung erfolgen, bei wiederholtem Laden wird bei gleicher Beschaffenheit der Luft auch bei gleicher Dichtigkeit, d. h. da die Oberfläche stets dieselbe ist, bei gleicher Elektrizitätsmenge, die Entladung erfolgen. Man kann so in der That ziemlich genau Elektrizitätsmengen vergleichen, allein der Übelstand dabei ist, daß diese Gleichheit der Elektrizität sich erst im Augenblick des Verschwindens der Ladung documentiert, sodaß man sie nicht mehr verwenden kann. Diese Lanesche Maßflasche ist dann verbessert von Sigaud de la Fond[1]) 1781, welcher die Verschiebung der horizontalen Messingstange durch eine Schraube bewirkte, welche am Ende eine Scheibe trug, die bei ihrer Drehung an einem feststehenden Zeiger die Größe der Verschiebung des Knopfes anzeigte. Wohl das erste Beispiel einer Mikrometerschraube! Jedenfalls die erste Anwendung derselben in der Elektrizität. Sigaud de la Fond war anfänglich Arzt in Paris, später Professor der Physik in Bourges. Eine andere Veränderung,[2]) die er anbrachte war keine Verbesserung, aber als Zeichen der Zeit, welcher er angehörte, mag sie hier erwähnt werden; er lud eine Belegung einer Glastafel vom Konduktor der Elektrisiermaschine und stellte auf dieselbe zwei Männchen aus leitender Substanz, welche mit zwei Pistolen einander gegenüber gestellt wurden, sobald die Ladung stark genug war, feuerten sie die Pistolen aufeinander ab, d. h. die Hollundermarkkugeln wurden durch die Abstoßung der gleichartigen Elektrizität aus der Pistole herausgetrieben. Freilich hatte er damit den Vorzug erreicht, daß er die Tafel nicht entladen hatte, aber da die Stärke der Elektrizität, bei welcher die Entladung eintritt, wesentlich abhängig ist, von der Größe der Reibung, so ist das Maß sehr wenig zuverlässig.

1) Précis historique et expérimental des phénomènes électriques. 1781. Sect. II.

2) Fischer, Geschichte d. Phys. V. pag. 643.

auf der Rückseite der Form kennen gelernt hatten, abzuleiten. Da der Halbleiter diese wunderbare Dreiteilung erleiden soll, ist es nicht zu verwundern, daß Volta nur sehr wenig Körper fand, die diese Arbeit leisteten. Er giebt als geeignete an reine Marmor- und Alabasterplatten, Agat, Chalcedon, Elfenbein, mit Leinöl getränktes Holz. Wollte ein derartiger Körper aber nicht die gewünschten Resultate geben, so überzog er denselben wieder mit Firnis und kam auf diese Weise zu dem Kondensator, wie wir ihn heute gebrauchen: zwei Metallplatten, die beide gut gefirnißt sind. Die Erscheinung an solchen Platten ergiebt sich sofort aus den schon erwähnten Influenzgesetzen Aepinus' und Wilkes. Volta gebrauchte seinen Apparat, sowohl um geringe Quantitäten Elektrizität nachzuweisen, als besonders, um Elektrizität längere Zeit festzuhalten.

Um den ersteren Zweck zu erreichen, teilt man dem Deckel, der „Kollektorplatte" nach Rieß,[1]) etwa + Elektrizität mit, stellt sie auf die andere Platte, die Kondensatorplatte, von welcher sie durch die doppelte Firnisschicht getrennt ist, so influenziert sie auch dieselbe, und es wird auf dem zugewandten Ende —, auf dem abgewandten + Elektrizität sich befinden; letztere leitet man ab zur Erde, sodaß die — Elektrizität bleibt; hebt man nun die Kollektorscheibe ab, so wird die — Elektrizität, auf der nun isolierten Kondensatorscheibe sich ganz ausbreiten und durch häufigeres Berühren der Kollektorscheibe und folgendes Wiederabheben der Elektrizitätsquelle, wird man die Ansammlung der — Elektrizität auf der Kondensatorscheibe wesentlich steigern. Der Name Kollektor ist wohl zuerst von Cavallo angewandt.[2]) Will man den Kondensator zu diesem Zweck benutzen, so folgt man der Einrichtung, welche Bennet demselben gab, nicht Volta, wie man aus Rieß schließen könnte.[3]) Bennet[4]) setzt auf die Zuleitungsstange seines Goldblattelektroskopes eine Kondensatorscheibe, auf welche dann die Kollektorscheibe gestellt werden kann. Zwischen die beiden

1) Reibungselektrizität I., pag. 307.
2) Fischer, Geschichte der Physik VIII., pag. 407.
3) Reibungselektrizität I., pag. 337.
4) Phil. Transact. 1787. pag. 52.

Metallplatten legte Bennet eine dünne Marmorplatte zur Isolierung, während Cavallo Firnis anwandte. Man ladet die Kollektorplatte, indem man sie mit der Elektrizitätsquelle berührt, oder in leitende Verbindung bringt. Letzteres geschieht hauptsächlich, wenn es sich um den zweiten Zweck des Kondensators handelt, nämlich große Mengen Elektrizität anzusammeln. Nachdem die Kollektorscheibe soviel Elektrizität aufgenommen, wie möglich, läßt man beide Platten isoliert stehen und der Verlust an Elektrizität ist ein sehr geringer, sodaß man nach vielen Tagen noch die Elektrizität gebrauchen kann.

68. Eine wesentliche Verbesserung erfuhr der Kondensator durch Bennet dadurch, daß er aus ihm einen Duplikator machte[1]). Er stellte eine Metallscheibe A auf einen isolierenden Glasfuß, überzog die obere Seite mit einer Firnisschicht, legte auf dieselbe eine auf beiden Seiten gefirnißte Metallscheibe B, welche einen horizontalen isolierenden Handgriff besaß; berührte er nun die nichtgefirnißte untere Seite von A mit der Elektrizitätsquelle, diese liefere etwa positive Elektrizität, so wurde A + und B an der unteren Seite —, oben + elektrisch, letztere Electrizität wurde mit dem Finger abgeleitet, sodaß sich die — Elektrizität über die ganze Platte B verbreitete. Nun hebt man B ab und setzt darauf eine dritte Scheibe C, welche oben einen isolierenden Griff hat und unten gefirnißt ist, so erhält man da auf der unteren Seite +, auf der oberen — Elektrizität, welche wieder durch Berührung mit dem Finger abgeleitet wird. Beim Abheben von C erhalten wir also + Elektrizität auf dieser Scheibe, damit berührt man wieder die untere Seite von A und läßt das Experiment sich wiederholen. Auf diese Weise verdoppelt man die Elektrizität, wie Bennet sagt. Aber eine Verdoppelung tritt selbstredend nicht ein, nur eine Verstärkung.

Als Cavallo diese Versuche nachmachte, fand er die Resultate wenig befriedigend und schrieb das richtig der durch Reibung der Firnisschichten erzeugten Elektrizität zu, infolge dessen ordnete[2]) er die drei Scheiben so an, daß sie alle drei

1) Phil. Transact. 1787, pag. 288.

2) Cavallo complete treatise in electricity III, pag. 80.

vertikal einander parallel standen auf getrennten Glasfüßen, die einander aber so nahe gebracht werden konnten, daß sie sich zwar nicht ganz berührten, aber doch nur eine dünne Luftschicht von etwa $^1/_{10}$ Zoll zwischen sich ließen. Die Versuchsanordnung war die Bennetsche, nur daß oben und unten jetzt rechts und links oder vorn und hinten heißen muß.

69. Der Erste, welcher als trennende Schicht keinen Firnis oder sonstigen festen Isolator anwandte, war unser Lichtenberg.[1]) Er legte auf die Kondensatorscheibe drei sehr kleine Glasstückchen in der Größe des Buchstaben *o*, von gleicher Dicke und setzte darauf die Kollektorscheibe, so hatte er als trennende Schicht die zwischenliegende Luft. Man kann auch mit Erfolg statt der Glaskörner drei Siegellackflecken machen, besonders ist das anzuraten, wenn gefirnißte Platten den Dienst versagen, weil der Firnis gerissen ist.

Auch Bohnenberger[2]), der hier zum erstenmale auftritt, verbesserte die Einrichtung des Duplikators 1793 dadurch, daß er die Scheiben *B* und *C* an einem besonderen Stativ drehbar machte, die Luft als Isolator benutzte und durch passend angebrachte Drähte die Entladungen und Verbindungen, welche nötig sind, leicht bewerkstelligte.

Bohnenberger, der Vater des durch das Reversionspendel und astronomische Entdeckungen und elektrische Untersuchungen berühmten Professors, war Pfarrer im Würtembergschen anfangs zu Simmozheim, später zu Altburg bei Calw, geboren 1732, er starb 1807. Seine erste Schrift elektrischen Inhalts erschien 1784 über eine Elektrisiermaschine.

Für die näheren Angaben über den Kondensator verweise ich auf Rieß, Reibungselektrizität I, § 313—349.

70. Während so in diesem Zeitraume die Ansammler der Elektrizität fast bis zur Vollendung ausgebildet wurden, blieben die Elektrizitätserzeuger nicht hinter jenen zurück. Wir haben die Vervollkommnung der Electrisiermaschine bis zum Frank-

---

1) Erxleben, Anfangsgründe der Naturlehre, 6. Aufl. v. Lichtenberg 1794, p. 506.

2) Beschreibung unterschiedlicher Elektrizitätsverdoppler etc. Tüb. 1793.

linschen Zeitalter verfolgt und mit der Winklerschen Maschine abgeschlossen, wo ein Glascylinder durch ein Lederkissen gerieben wurde.

Das Reibzeug wurde zunächst verbessert von Waitz[1]), welcher angiebt, daß die Elektrizität stärker sei, wenn als Reibzeug ein mit Wachs bestrichenes, dann mit Öl begossenes Tuch genommen würde. Später bestreute man außerdem das Reibzeug mit etwas Kreide. Die wichtigste Entdeckung aber ging von Canton[2]) aus. Ich habe schon die Elektrizitätserregung durch Reiben des Quecksilbers an der Innenseite der Barometerröhre erwähnt. Canton untersuchte dieselbe dadurch, daß er eine Glasröhre in Quecksilber tauchte und sie beim Herausziehen stark elektrisch fand. Dies brachte ihn auf den Gedanken, daß Quecksilber überhaupt sehr geeignet sei, die Elektrizitätserregung zu befördern, er bestrich deswegen sein Kissen mit einem Zinnamalgam und erhielt bessere Resultate. Allein, da die Reibung des Glases mit Quecksilber durchaus nicht in allen Fällen + Elektrizität auf dem Glase bewirkte, sondern unter Umständen, wie le Roy und Ingenhousz fanden, auch — Elektrizität erzeugen kann, und da, wie v. Kienmayer bemerkte, bei dem Zinnamalgam sich das Zinn und Quecksilber leicht wieder trennen, sodaß das Quecksilber entweder in Kügelchen zur Erde falle, oder mit dem Fette, mit welchem es auf das Kissen geklebt sei, an der Glastafel hafte und diese daher teilweise leitend mache, so wurde das Zinnamalgam nicht allgemein angenommen. Ähnliche Bedenken erregte das von Higgins[3]) erfundene Zinkamalgam aus vier Teilen Quecksilber und einem Teil Zink. Erst das Amalgam von v. Kienmayer in Wien erfreute sich allgemeiner Beliebtheit und hat bis heute seinen Platz behauptet, es wird nach seiner Angabe, die er in einem Briefe an Ingenhousz publizierte[4]), auf folgende Weise präparirt: man schmilzt einen Teil Zinn und einen Teil Zink zusammen und gießt, während dieselben noch flüssig sind, zwei Teile Quecksilber hinzu, rührt mit einem eisernen Spatel und

1) Abhandlung von der Elektrizität, 1745. Cap. II.
2) Phil. Transactions, 1762.
3) Phil. Transactions, 1778. pag. 861.
4) Journal de Physique, Août 1788.

zerreibt die noch nicht ganz erkaltete Mischung in einem Mörser zu feinem Pulver. Um die sich entwickelnden Quecksilberdämpfe zu verhindern, die in größeren Quantitäten der Gesundheit schädlich sind, kann man die geschmolzenen Metalle auch in eine mit Kreide ausgestrichene Holzbüchse gießen, worin sich die zwei Teile Quecksilber bereits befinden, schließt dann die Büchse und rollt sie so lange auf dem Tisch, bis sich das Amalgam gebildet, dann zerreibt man dasselbe ebenfalls in einem Mörser zu Pulver, welches anfänglich ganz weiß ist, später grau und dauernd der Luft ausgesetzt schließlich ganz schwarz wird wegen der Oxydation. Man schmiert es mit einem Messer auf das mit Fett bestrichene Reibkissen der Maschine.

Dies Amalgam auf Leder geschmiert hat nun den Vorzug, daß sich das Amalgam nicht leicht in seine Bestandteile auflöst, und vor allen den, daß das Glas hiermit gerieben unter allen Umständen + elektrisch wird. Ich habe schon erwähnt, daß Glas, wenn es noch frisch ist, leitet und durch Reibung mit sehr vielen Körpern negativ elektrisch wird, ebenfalls übt die Temperatur einen bedeutenden Einfluß auf das Glas aus, so zwar, daß glühendes Glas sogar ein guter Leiter der Elektrizität ist, wie Priestley nachweist[1]). Überhaupt hängt die Elektrisierung aller Körper wesentlich von dem Zustande der Oberfläche ab, wie seiner Zeit erwähnt ist.

Spätere Verbesserungen des v. Kienmayerschen Amalgams sind wieder vergessen, weil unnütz und unpraktisch, so die von v. Marum empfohlene Beimischung von etwas Mussivgold in das Amalgam. In unserm Zeitalter hat Pfister in Wien ein verbessertes Amalgam bekannt gegeben aus zwei Teilen Zinn, drei Teilen Zink und 4 Teilen Quecksilber, aber nach der auf Rieß Ersuchen angestellten Analyse von Heintz enthielt das Pulver 22,82 Zinn, 21,38 Zink, 47,09 Quecksilber, 3,56 kohlensauren Kalk, war also fast genau dasselbe wie das Kienmayersche[2]). Freiherr Franz v. Kienmayer war Appellationsrat, Oberhofmarschall und Kanzleidirektor in Wien, wo er 1802 gestorben ist.

---

1) Priestley, Geschichte pag. 402.

2) Rieß, Reibungselect. I. pag. 291.

Eine wesentliche Verbesserung erfuhr das Reibzeug noch dadurch, daß das eigentliche Kissen mit einem Besatz von Wachstaffet versehen wurde, welcher auf der Maschine lag, um die Entweichung der Elektrizität von dem Glascylinder zu verhüten. Dieser Vorschlag wurde von D. Nooth gemacht[1], aber wohl zuerst von Cavallo benutzt[2]. An die Stelle von Wachstaffet sehen wir Nairne einen seidenen Lappen setzen, wie wir ihn noch heute an unseren Maschinen gewohnt sind. Von Edward Nairne weiß ich nur, daß er Mechanikus in London war, daß er seit 1776 Mitglied der Roy. Soc. war und 1806 in London starb.

Neben dem Reibzeug geht aber auch eine Vervollkommnung des geriebenen Körpers her. Schon im Jahre 1755 vertauschte der Direktor des Haldensteinschen Seminars Planta den Cylinder mit einer Glasscheibe, welche durch zwei Kissen, die sich gegenüberstanden, auf beiden Seiten gerieben wurde. Ob unabhängig hiervon oder dadurch veranlaßt, das läßt sich nicht nachweisen, erfanden die Scheibenmaschine später noch andere, so in Frankreich behauptete Sigaud de la Fond zuerst eine Scheibe angewandt zu haben, während in England nach dem Zeugnisse Priestleys Ingenhousz der Erfinder ist und nicht, wie man oft liest, Ramsden, den Priestley in seiner ersten Ausgabe der Geschichte der Elektrizität freilich anführt, später aber diese Angabe selbst dementiert[3]. Doch erst um das Jahr 1775 wurde die Glasscheibe allgemeiner eingeführt und besonders in Deutschland erfreute sich dieselbe einer allgemeinen Verbreitung. Der ebengenannte Ingenhousz war praktischer Arzt, geboren in Holland zu Breda 1730, lebte er die längste Zeit in England, wo er auch zu Bowood bei London 1799 gestorben ist als Mitglied der Roy. Soc., welches er seit 1769 war.

Die großartigsten Exemplare dieser Art wurden in England gefertigt, wobei man statt einer Scheibe deren zwei parallel auf eine Axe brachte. Ein Monstreexemplar der Art

1) Phil. Transact. 1763.
2) Fischer, Geschichte VIII. pag. 439.
3) Priestley, Geschichte pag. 350.

wurde unter Anleitung v. Marums von dem Amsterdamer Mechaniker Herrn Cuthbertson 1785 konstruiert für das Teylersche Museum in Harlem[1]). Die Scheiben haben einen Durchmesser von 65 englischen Zoll und eine gegenseitige Entfernung von $7^1/_2$ Zoll, jede Scheibe wurde von vier $15^1/_2$ Zoll langen Kissen gerieben, die mit Wachstaffet armiert waren, welcher bis dicht vor die Spitzen des Konduktors reichte.

Diese Maschine lieferte Funken von 24 Zoll Länge und beeinflußte ein Elektrometer bereits in einer Entfernung von 40 Fuss. Marum lud damit eine mächtige Batterie von 225 Quadratfuß Belegung, welche zu interessanten Versuchen Gelegenheit gab, die ich später unten erwähnen werde.

71. Schon früher hatte sich v. Marum intensiv mit der Elektrisiermaschine beschäftigt. Schon 1772 hatte er angefangen, mit Glasscheibenelektrisiermaschinen Versuche anzustellen, und dabei besonders die Erregung der Elektrizität durch Quecksilberreibung studiert.[2]) Zu dem Ende ließ er seine Glasscheibe nicht durch ein Kissen reiben, sondern stellte einen schmalen länglichen Trog unter die Scheibe von hinreichender Höhe, sodaß er die Scheibe verschieden tief in das Quecksilber eintauchen konnte, er verfertigte sich aber nicht nur Glasscheiben, sondern auch solche aus Gummilack, aus Harz, Kolophonium, weißem Wachs, Pech, aus getrocknetem Holz etc. Er widerlegt dabei eine Bemerkung des früher vielfach erwähnten Nollet, daß die Erscheinung, welche Priestley am Glase wahrgenommen, daß es im frischen Zustande nämlich leitend sei, auch für frische Harzkuchen gelte, indem er sie oft zur Elektrizitätserregung gebrauchte, kaum eine Stunde nach der Anfertigung.[3]) Er wiederholte auch die Versuche des 1742 gestorbenen Gravesande über die Elektrizitätserregung im luftverdünnten Raume, die dieser 1720 in seinen Elementa physices mathematica etc. beschrieben hatte, und stellte die Maschine unter den Recipienten einer Luftpumpe, indem er für eine leichte Methode der

1) v. Marum, Beschreibung einer ungemein großen Elektrisier-Maschine etc. Deutsche Übersetzung. Leipzig 1786.

2) v. Marums Abhandlung über das Elektrisieren, deutsch von Möller. Gotha 1777.

3) Ebenda, pag. 67.

Erregung durch eine luftdicht schließende Kapsel Sorge getragen hatte. Er fand, daß die Erregung der Elektrizität von der Anwesenheit der Luft unabhängig sei, ein wichtiges Resultat bei der noch damals vielfach behaupteten Verwandtschaft des Phlogistons und der Elektrizität, dagegen war Kohlenoxydgas, obgleich er es als Nichtleiter erkannt haben wollte, nicht geeignet starke Elektrizität zu erzeugen. Schwefeldampf, welchen er untersuchte, fand er als vollständigen Leiter.

Man wandte diese von v. Marum vorgeschlagenen Harzmaschinen übrigens vielfach an um negative Elektrizität zu erhalten, obgleich schon Priestley[1] darauf aufmerksam gemacht hatte, daß es ratsam sei das Reibzeug auch vollständig zu isolieren, um nach Bedürfnis dasselbe mit einem zweiten Konduktor in Verbindung zu setzen, der dann negative Elektrizität erhalte, während der — Konduktor mit der Erde in leitende Verbindung gebracht sei. Diese Anordnung rührt nicht erst von Le Roy her, wie Fischer angiebt.[2] Priestley wendet dieses isolierte Reibzeug sogar mit Nutzen bei der Ladung einer Batterie an, indem er den + Konduktor mit der inneren Belegung in leitende Verbindung bringt, den — aber mit der äußeren.

Ehe ich fortfahre, möchte ich über v. Marum bemerken, daß er 1750 in Gröningen geboren wurde, anfangs in Harlem praktischer Arzt war, seit 1777 Direktor des Naturalienkabinets der dortigen Gesellschaft der Wissenschaften, seit 1784 Direktor des Teylerschen Museums; gestorben ist er 1837 zu Harlem.

72. In der uns jetzt beschäftigenden Zeitperiode machte man auch viele Versuche über die Entladung. Schon Kinnersley hatte 1761 die Einwirkung der Funkenentladung auf die Luft an seinem Luftthermometer untersucht.[3]) In eine auf einen Metallfuß gekittete Röhre von 1 Inch Weite und 11 Höhe ragte bis dicht über den Boden eine längere Glasröhre, und aus dem Fuß ragte in die weite Röhre eine mit Knauf ver-

1) Priestley, Geschichte pag. 339 und 360.
2) Fischer, Geschichte der Physik, VIII. pag. 447.
3) Experiments and Observations, pag. 389.

sehene Messingstange. Die weite Röhre konnte durch einen Deckel, durch welchen die enge Röhre ragte, luftdicht verschlossen werden. Aus dem Deckel ging nach unten ebenfalls eine Metallstange mit Knauf, sodaß sich die beiden Köpfe der Stangen gegenüberstanden; ihre Distanz konnte durch Verschieben der oberen Stange geändert werden. Nun ließ Kinnersley durch die Röhre eine Entladung von starken Batterien schlagen, nachdem er ein wenig Flüssigkeit in die Röhre geschüttet hatte. Die Erschütterung der Luft war dann sehr stark und bewirkte durch Druck ein schnelles Ansteigen der Flüssigkeit in der engen Röhre, welches aber nach einigen Schwankungen wieder nachließ, doch nahm die Flüssigkeit in der Röhre nicht gleich wieder die frühere Stellung ein, sondern stand erheblich höher, ein Beweis, daß die Luft in der weiten Röhre ausgedehnt, d. h. erwärmt war, erst ganz allmählich, wie stets beim Erkalten, nahm die Flüssigkeit dieselbe Stellung ein wie früher. Dasselbe Resultat ergab sich, wenn er in das Thermometer zwischen die Kugeln einen Streifen Schreibpapier, einen Flachs- oder Wollfaden, einen Grashalm, Silberdraht oder einen Streifen Goldpapier brachte. Da meinte er, diese Körper würden auch beim Durchgange des elektrischen Funkens ausgedehnt, und er stellte deswegen einen Versuch mit einer dünnen Harfensaite an von 24 Zoll Länge, welche er mit einem Pfundgewicht spannte, als er nun die Funken hatte hindurchschlagen lassen, wurde die Saite glühend und nach dem Erkalten fand er sie einen Zoll länger wie vorher.

Kinnersleys Vermutung ist aber nicht zutreffend, die Ausdehnung kommt durch das Gewicht, welches die glühende Saite verlängerte, ja Nairne und Marum[1]) wollten sogar das Gegenteil behaupten. Ersterer fand, daß ein 12 Zoll langer Draht von 0,12 Linien Dicke nach 15maliger Entladung um 1,1 Zoll verkürzt war; v. Marum, daß ein 18 Zoll langer, $^1/_{55}$ Zoll dicker Eisendraht durch eine Entladung seiner großen Batterie um $^1/_4$ Zoll verkürzt war. Alle späteren Versuche schienen dies zu bestätigen bis Rieß zeigte, daß die Ver-

1) v. Marum, Beschreibung einer ung. gr. Elektrisierm. 1. Fortsetzung 1788. pag. 13.

kürzungen nur scheinbare seien und von eingetretenen Krümmungen herrührten, indem ein um 5,2 Linien verkürzter Draht nach dem Durchstreichen durch die Finger bis auf 1,6 Linien seiner ursprünglichen Länge wieder nahe kam, und diese Abweichung auch nur infolge einiger noch vorhandener kleiner Krümmungen zeigte.

73. Diese Wärmewirkung des elektrischen Funkens gab dann Veranlassung zu den verschiedensten Versuchen. Man ließ den elektrischen Funken durch alle möglichen Körper gehen. Bei den Nichtleitern fand sich bei hinreichender Stärke eine mechanische Zerreißung, so spaltete v. Marum einen Cylinder aus Buchsbaumholz von 4 Zoll Höhe und 4 Zoll Durchmesser und berechnete die Kraft, welche zur Zerreißung nötig gewesen wäre, auf 9840 Pfund[1]). Interressant sind die Beobachtungen beim Durchschlagen eines Buches. Symmer beobachtete beide Ränder nach außen gebogen und sah das als einen Beweis für die dualistische Theorie an. Lullin bemerkte 1766, daß ein Kartenblatt, welches man zwischen zwei Spitzen des Schließungsbogens stellte, die nicht genau einander gegenüberlagen, nicht zwischen den Spitzen durchbohrt wurde, sondern mehr in der Nähe des — Poles. Eine Entdeckung, die von Pictet bestätigt wurde[2]).

Nichtleitende Pulver werden beim Durchschlagen des Funkens nach allen Seiten zerstreut; besonders lehrreich sind die von Lichtenberg beobachteten Anordnungen nichtleitender Pulver auf einer Platte, wenn der Entladungsfunken darüber hingeht. Lichtenberg vergleicht die Zeichnung dem Chagrinleder, sie rührt her von den Lufterschütterungen.

An den Metallen zeigt sich die Wirkung des Funkens im Erwärmen, welches bis zur Schmelztemperatur steigen kann. Schon Franklin beobachtete das leichte Schmelzen durch den elektrischen Funken[3]). Zuerst machte Kinnersley den Versuch, daß ein Entladungsfunken durch einen dünnen Eisen-

---

1) v. Marum, Beschreibung einer ung. gr. Elektrisierm. 1. Fortsetzung 1788. pag. 3.

2) Rieß, Reibungselektrizität. II. pag. 9.

3) Priestley, Geschichte. pag. 184.

draht ging und diesen in Tropfen auflöste, welche in den unterstehenden Tisch Löcher brannten. Franklin verfolgte diese Erscheinung und schmolz auf diese Weise einen Messingdraht von $^1/_{330}$ Zoll Dicke. Priestley führte diese Versuche weiter und kam zu dem Resultat, daß bei Drähten desselben Metalls die Kräfte, welche zum Schmelzen gehören, proportional sind den Längen und den Quadraten der Querschnitte[1]). Für verschiedene Metalle ist die Kraft, welche gleiche Längen des Drahtes zu schmelzen imstande ist, sehr verschieden, nach Priestley ist am leichtesten Eisen, dann Messing, Kupfer, Silber, Gold zu schmelzen, und am vollständigsten gelangen diese Schmelzungen, wenn er die Metalle in kleine Glasröhren steckte[2]).

Am ausführlichsten sind ohne Zweifel die Versuche von v. Marum in dieser Richtung. Er fand, daß von ein und derselben Elektrizitätsmenge 120 Zoll Blei, ebensoviel Zinn, 5 Zoll Eisen und $3^1/_2$ Zoll Golddraht von gleicher Dicke geschmolzen werden konnten. Bei Silber, Kupfer und Messing fand nur eine unvollkommene Schmelzung statt, sodaß die Drähte wohl zerrissen waren, aber nicht geschmolzen. Das oben von Priestley angegebene Gesetz fand v. Marum in keiner Weise bestätigt, und da, wie Rieß angiebt[3]), der Grad der Schmelzbarkeit der Metalle überhaupt ein sehr verschiedener ist, mußten die Resultate der verschiedenen Beobachter von einander abweichen. Im allgemeinen kann man nur sagen, daß das Schmelzen wesentlich von der Sprödigkeit, der Wärmekapazität, dem Leitungswiderstand und dem spezifischen Gewicht abhängt. Man kann deswegen nur über das Glühen Gesetze aufstellen und Rieß giebt dafür folgende drei Gesetze: 1) Das Glühen eines Drahtes ist abhängig von dem Produkt der Elektrizitätsmenge in ihre Dichtigkeit, sodaß bei verschiedener Elektrizitätsmenge und verschiedener Dichtigkeit derselbe Draht zum Glühen kommt, wenn nur das Produkt dieser beiden Größen konstant bleibt. 2) Die zum Glühen

---

1) Priestley, Geschichte. pag. 362.
2) Priestley, Geschichte. pag. 427 und 487.
3) Rieß, Reibungselekt. II. pag. 15 ff.

eines Drahtes erforderliche Stärke des Entladungsstromes ist unabhängig von seiner Länge. 3) Sie ist dem Biquadrate seines Radius proportional.

Rieß wandte zu seinen Versuchen ein elektrisches Luftthermometer an[1], wie es heute allgemein gebraucht wird, und dem Kinnersleyschen ähnlich ist, indem an die Stelle der beiden gegenüberstehenden Kugeln eine feine Drahtspirale tritt, welche durch den Entladungsstrom glühend wird, dadurch die Luft in einem Ballon erwärmt und durch die Ausdehnung derselben eine Flüssigkeitssäule in einer etwas schräg gestellten Röhre herunterdrückt. Übrigens thut man gut als Flüssigkeit eine nicht leicht entzündbare zu nehmen, da dieselbe den Ballon mit Dampf erfüllt, der leicht explodieren kann.

Die Beobachtungen Rieß' haben die glänzendste Bestätigung durch die mechanische Wärmetheorie erhalten, indem Clausius 1852 nachwies[2], daß die entwickelte Wärmemenge dem Quadrat der in der Batterie vorhandenen Elektrizitätsmenge direkt, der Oberfläche der Batterie umgekehrt proportional ist.

74. Von höchster Wichtigkeit ist, daß in demselben Zeitabschnitt auch die Versuche über die chemische Wirkung der Elektrizität beginnen und durch Priestley und v. Marum einen solchen Fortgang nehmen, daß die Chemie bereits großen Nutzen daraus zog. Der ersten chemischen Wirkungen habe ich schon gedacht bei der Färbung roter Mohnblätter. v. Marum[3] bemerkte bei seinen Versuchen, wie die Metalldrähte beim Schmelzen eine Verdampfung erleiden, die durch Bildung von länglichen Flocken, die bis 3 Zoll lang und 2 Linien breit sind, besonders auffallend ist; er beobachtete diese nur bei Eisen- und Zinndampf, sie stiegen mit auf und schwebten eine Zeitlang in der Luft. Er legte unter die zu schmelzenden Drähte ein Stück Papier in einer Distanz von gemeiniglich $1/8$ Zoll, wenn nun der Draht geschmolzen war, so legte sich auf das Papier eine feine Staubmasse, welche die verschieden-

1) Rieß, Reibungselekt. I. pag. 391 ff.

2) Pogg. Annal. 86. 1852. p. 337.

3) Beschreibung einer ung. großen Elektrisiermaschine: 40 und 1. Fortsetzung pag. 13. Die Erklärung für den Vorgang pag. 22.

sten Zeichnungen annahm bei den verschiedenen Metallen. Was hierbei aber am besten ist, daß v. Marum die richtige Erklärung dafür giebt, er nennt den Prozeß freilich im Sinne seiner Zeit eine Verkalkung, aber sagt doch ganz recht, man habe es hier zu thun mit einer Aufnahme von Sauerstoff durch die glühenden Metalle, und deswegen seien die Bildungen der Flocken nur im Eisendampf und Zinndampf zu beobachten, weil diese Metalle sich am leichtesten mit Sauerstoff verbinden. Er untersuchte die Flocken im Dampf des Eisens und fand, daß es reines Eisenoxyd sei (Eisenäther). Veranlaßt zu dieser Erklärung wurde v. Marum durch die Versuche, welche er 1785 auf einer Reise in Paris in der Akademie gesehen hatte und durch Lavoisiers Schriften über den Sauerstoff. Derselbe war 1774 von Priestley entdeckt, aber Lavoisier verhalf ihm zur allgemeinsten Anerkennung.

Lavoisier war 1743 zu Paris geboren, anfangs Generalpächter der Steuern, seit 1776 Verwalter der königlichen Pulver- und Salpeterfabriken, 1788 Verwalter der Diskontokasse und 1791 in die Verwaltung des Nationalschatzes berufen, wurde er, einer der größten Franzosen, zur Schande der französischen Republik sei es gesagt, ein Opfer der Guillotine 1794. Schon 1775 hatte Lavoisier die Theorie der Kalcination der Metalle gegeben und v. Marums Erklärung ist eine Reproduktion dieser. Noch 1785 war letzterer ein Anhänger des Phlogiston gewesen, erst 1786 bekehrte er sich zum Sauerstoff und der Lavoisierschen Erklärung.

Wie aber die Metalle von dem elektrischen Funken chemisch beeinflußt werden, so auch die Flüssigkeiten. Es war schon länger bekannt, daß Flüssigkeiten Leiter und Nichtleiter sind; durch letztere fuhr der Entladungsfunken mit Licht und Schallentwicklung, ohne Veränderung derselben nur sie mechanisch erschütternd, anders bei leitenden Flüssigkeiten. Zuerst war es Priestley, welcher 1774 aus Schwefeläther, Olivenöl, Pfefferminzöl und Alkohol den Wasserstoff erzeugte. Die Zersetzung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff ist zuerst von Paetz van Troostwyck und Deimann erhalten[1]), in-

1) Fischer, Geschichte VIII, pag. 541.

dem sie wiederholt die Entladung einer Kleistschen Flasche durch destilliertes Wasser gehen ließen. Auch beobachteten sie, wie das entstehende Gasgemisch durch den elektrischen Funken wieder zu Wasser wurde am 12. Nov. 1789. Eine Beobachtung, die erst sieben Jahre später von Pearson bestätigt, aber gänzlich falsch erklärt wurde.

Priestley hatte schon 1772 einen Funken durch ein Kohlblatt schlagen lassen und fand die Stelle entfärbt und wesentlich verändert, sodaß er auf eine chemische Wirkung schloß. Der Einfluß der Elektrizität auf das Pflanzenleben wurde derzeit vielfach behauptet, so meint v. Marum in seiner Vorrede zur Abhandlung über das Elektrisieren, die Pflanzen wüchsen besser, wenn sie elektrisiert würden. Besonders der Abt Nollet hatte derartige Versuche angestellt an in Blumentöpfe gestreuten Samen, wo er stets im elektrisierten Topfe den Samen zwei bis drei Tage früher keimen sah.[1]) Veranlaßt zu diesen Versuchen wurde er durch die 1746 angestellten Beobachtungen des Engländers Maimbray an blühenden Myrtenbäumen.

75. Am lebhaftesten interessierten jedoch die Versuche mit animalischen Wesen, besonders mit Menschen. Der Abt Nollet war wohl der erste, welcher 1746 einen Spatzen mit dem Entladungsschlage der Batterie tötete. Gleichzeitig mit ihm stellte Gralath in Danzig Versuche an, er tötete Kellerwürmer und Käfer, endlich auch Vögel[2]). Nollet wollte dabei eine Blutzersetzung beobachtet haben, was Priestley aber bestreitet; ebensowenig wie er das Zerreißen der Adern anerkennt[3]). An Menschen wurde auch viel experimentiert, die Empfindung der Erschütterung, welche Wilke und Musschenbroek hatten, habe ich schon erwähnt, ebenfalls Winklers Kopfweh und Ermattung; man fing aber zu der Zeit auch an die Elektrizität zu medizinischen Zwecken zu benutzen. Freilich klingen die Berichte oft sehr übertrieben, so wollte Pivati den 75jährigen Bischof von Sebenico durch zwei Minuten langes

1) Priestley, Geschichte, pag. 92 u. 95.

2) Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft zu Danzig. I pag. 520 ff.

3) Priestley, Geschichte. pag. 68 u. 92.

Elektrisieren von seiner äußerst schmerzhaften Gicht befreit haben, zum Überfluß wollte er diese Erfolge erzielt haben durch Hindurchdunsten medizinischer Kräuter durch die Poren des Glases mittels des elektrischen Funkens! Nollet enthüllte dies als reinen Schwindel. Vernünftiger waren die Experimente Jallaberts, welcher einen an einem Arm gelähmten Schlossermeister vom 26. Dezember 1747 bis 28. Februar 1748 mit dem Funken behandelte und ihn als geheilt entließ[1]). Erwähnenswert ist die Kur, welche Dr. Watson 1763 im Januar beendete, indem er ein 7jähriges völlig gelähmtes Kind nach $2^1/_2$ monatlicher Behandlung als völlig geheilt entlassen konnte. Andere waren weniger glücklich, so bewirkte ein Dr. Hart, daß ein an einem Arm gelähmtes Mädchen nach zweimaliger Elektrisierung völlig gelähmt war. Nachdem er sie durch Arzneimittel wieder auf den vorigen Zustand zurückgeführt hatte, behandelte er dieselbe wieder mit Elektrizität und brachte sie nach vier Tagen in einen solchen Zustand der Lähmung, daß sie nicht mehr schlucken konnte. Als er nach wiedererlangter Stimme und Beweglichkeit zum drittenmale seine Versuche anstellen wollte, protestierte freilich das junge Mädchen und sie wurde als ungeheilt entlassen. Die Elektrizität wurde dann in allen möglichen Krankheitsfällen angewandt, man versprach sich eben Wunderdinge von ihr, und es fehlte wenig, so glaubte man Tote damit ins Leben zurückrufen zu können, wie in der Oper Cosi fan tutte recht im Geiste der Zeit gezeigt wird. Der erste, welcher die Elektrizität bei Lähmungen anwandte, war übrigens ein Deutscher, Kratzenstein in Halle, welcher einen gelähmten Finger in $^1/_2$ Stunde kurierte, 1744[2]). Später ist diese elektrische Behandlung mit dem Funken der Batterie oder der Maschine ganz in Mißkredit gekommen. bis in unsern Tagen die Behandlungsweise wieder Eingang gefunden hat, davon werde ich an anderem Orte berichten.

76. Der elektrische Funke selbst war ebenfalls Gegenstand der Untersuchung. Entlud man die Maschine durch eine Spitze, so erfolgte das Büschellicht, welches identisch ist mit

1) Priestley, Geschichte. pag. 261 ff.
2) Fischer, Geschichte. V. pag. 837.

dem St. Elmsfeuer, welches sich auf Spitzen von Thürmen, an Haaren von Tieren oder Grashalmen zu zeigen pflegt, bei starker Luftelektrizität, besonders bei Gewittern. **Watson** erklärte es richtig, als identisch mit dem Büschellicht[1]. Ist die Oberfläche beider Konduktoren rund, so erfolgt die Entladung durch einen Funken, der mit heller Lichterscheinung begleitet ist. Die Farbe des Funkens hängt ab von den Metallen, zwischen welchen er überspringt. **Hales** fand den Funken aus Eisen weiß, aus Kupfer grün, aus einem Ei gelb[2]. Wie **Saxtorf** angiebt in seiner Elektrizitätslehre, ist er weiß bei Blei, Zinn, Quecksilber oder Silber, rötlich aus Eisen, Antimon und Gold, und grünlich aus Kupfer, Messing und Zink. Diese Farben rühren her von mitgeführten Metallstücken. Der erste, welcher nachwies, daß der elektrische Funke dasselbe Spektrum wie das Sonnenlicht gebe, war **Priestley**[3], indem er alle Farben des Spektrums deutlich gesehen. **Wollaston** fand jedoch je nach den Metallen zwischen welchen der Funke übersprang, eine bestimmte Färbung vorherrschend. **Priestley** führt auch an, daß der elektrische Funke keine Lichtlinie sei, sondern nur so scheine, während es gewissermaßen nur eine Feuerkugel sei.

Die merkwürdigste Entdeckung ist in der Beziehung die der elektrischen Pausen von **Groß**, 1776[4]. Nähert man dem Konduktor der Elektrisiermaschine eine Spitze, so findet, wie ich schon sagte, eine Büschelentladung statt, geht man aber ganz nahe heran, so bleibt die Dichtigkeit auf dem Konduktor doch groß genug noch einen Funken zu bilden, geht man dann zurück, so findet wieder die Büschelentladung statt und wenn auch diese aufhört, so tritt oft das Wunderbare ein, daß dann wieder einzelne Funken überspringen können, bis bei noch größerer Entfernung auch diese unmöglich sind, sodaß also nahe am Konduktor Funken überspringen, dann eine ganze Zeit keine und endlich wieder bei größerer Entfernung. **Nairne**

1) **Priestley**, Geschichte. pag. 251.
2) Phil. transact. 1748.
3) **Priestley**, Geschichte. pag. 485.
4) **Rieß**, Reibungselektrizität. II. pag. 126.

hat diese Versuche 1778 wiederholt und findet bei seiner Maschine in einer Nähe von 2 Zoll und weniger Funken, dann bis 10 Zoll keine, dann wieder bis 14,3 oder gar 16,3 Zoll Länge. Die genauesten Messungen stammen von Rieß.[1])

77. Während der Funke durch die Luft geht ist er durchaus nicht unthätig, sondern die Luft wird von ihm zersetzt. Priestley[2]) bemerkte bei dem Kinnersleyschen Luftthermometer, daß nach mehreren Funken, die durch den Cylinder gegangen waren, das Luftvolumen nach der Abkühlung vermindert erschien, er schloß daraus, daß eine Verzehrung der Luft stattgefunden habe; Cavendish, der berühmte Chemiker, untersuchte die Sache genauer und konstatierte, daß sich in der Luft Salpetersäure gebildet habe, d. h. 2 Teile Stickstoff mit 5 Teilen Sauerstoff verbunden seien. Der Versuch von Cavendish wird noch heute überall nachgemacht, um die Entstehung des Anhydrids Salpetersäure zu zeigen. Der Versuch gelingt nur, wenn die Luft feucht ist, und um ihn leichter gelingen zu lassen nimmt man nicht gewöhnliche atmosphärische Luft, sondern setzt derselben noch etwas überschüssigen Sauerstoff zu, sodaß ein Gasgemenge aus Stickstoff und Sauerstoff entsteht, welches sich nahezu wie 2 : 5 verhält[3]). Später ist dann gezeigt, daß fast alle Gasgemenge durch den elektrischen Funken eine Veränderung erfahren, sei es durch Eintreten in eine neue Verbindung, sei es durch eine Zersetzung.

Es fällt auch in diese Zeit die erste Beobachtung des Ozon. In den früheren Schriften hatte man auch schon viel von dem Schwefelgeruch gesprochen, der einen elektrischen Funken, oder, wie man sagte, das „elektrische Feuer“ begleiten, sodaß in manchen Büchern jener Zeit der elektrische Funke geradezu als verbrennender Schwefeldampf angesprochen wird. Franklin zeigte 1749[4]), daß dieser Geruch entstehe durch Einwirkung der Elektrizität auf die Luft: „I suspect that it

1) Reibungselektrizität. II. pag. 127.
2) Phil. Transact. 1785.
3) Phil. Transact. 1788.
4) New. Experiments and observat. pag. 84.

was — instantaneously from something in the air acted upon by it.“ Erst 1840 wurde von Schönbein die Wahrheit dieser Vermutung durch Entdeckung des Ozon nachgewiesen, indem nämlich die Elektrizität den gewöhnlichen oder „inaktiven“ Sauerstoff zerlegt in negativ elektrischen = Ozon und positiv elektrischen = Antozon nach dem Schema:

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{\ominus}{\oplus} + \genfrac{}{}{0pt}{}{\ominus}{\oplus} + \genfrac{}{}{0pt}{}{\ominus}{\oplus} = \left.\genfrac{}{}{0pt}{}{\ominus}{\ominus}\right\}\oplus + \left.\genfrac{}{}{0pt}{}{\oplus}{\oplus}\right\}\ominus$$

drei Moleküle Sauerstoff 1 Ozon 1 Antoz.

Diese Bildung tritt bei jeder Funkenentladung in atmosphärischer Luft auf.

Über den berühmten Chemiker Henry Cavendish möchte ich hier, da sich später die Gelegenheit kaum bieten wird, einige Daten anfügen. Er war ein sehr reicher Privatmann, der nur den Wissenschaften lebte, 1731 in Nizza geboren, starb er 1810 zu London als Mitglied der Roy. Society und der Pariser Akademie.

Viertes Kapitel.

Coulomb.

78. Nun zu dem letzten, dem berühmtesten Forscher dieser Periode. Charles Augustin Coulomb war zu Angoulême 1736 am 14. Juni geboren, früh kam er nach Paris und trat hier in das Geniekorps, um im Dienste des Staates als Ingenieur in die westindischen Kolonien zu gehen. Seine Gesundheit konnte das Klima dort aber nicht vertragen, deswegen kehrte er nach neun Jahren zurück und blieb im Geniekorps als Oberlieutenant zu Paris. Beim Ausbruch der Revolution zog er sich in ein Landhaus zurück und kehrte im dritten Jahre der Republik nach Paris zurück, wo er 1806 am 23. August hochgeachtet nicht nur wegen seiner wissenschaftlichen Verdienste, sondern auch wegen seines Charakters, starb. Seine wissenschaftliche Thätigkeit beginnt gleich nach seiner Rückkehr aus Westindien, indem er 1776 über einige Anwendungen der Theorie der Maxima und Minima auf statische Probleme schrieb in den Mém. de l'académie. Drei Jahre später sehen

wir ihn durch eine Preisaufgabe der Akademie: „Über die beste Herstellung von Schiffskompassen“ auf das Gebiet getrieben, wo er die Lorbeeren sich verdienen sollte. Er fand im Anschluß hieran seine Torsionswage 1785, und wandte dieselbe in sieben Abhandlungen von 1785—89 an auf Elektrizität und Magnetismus, welche ihn zum Vater sämtlicher elektrischer und magnetischer Meßmethoden machen, die noch heute gebraucht werden. Noch drei Jahre vor seinem Tode schrieb er eine wichtige Arbeit über Magnetisierung, so war er bis an sein Lebensende ein treuer Jünger der Wissenschaft und ein ernster Forscher.

79. Ehe Coulomb in seiner Forschung von der ersten Anwendung der Torsion eines Seidenfadens bei der im neunten Bande der „Savant étrangers“ beschriebenen Vorrichtung für Kompasse bis zur Konstruktion seiner Torsionswage gelangte, bedurfte es zunächst einer Untersuchung der Torsionskraft selbst. Coulomb gab dieselbe 1784[1]). Er zeigte zunächst, daß die Schwingungsdauer eines an einem Faden aufgehangenen Kreiscylinders ist $T = \left(\int\frac{\pi r^2}{n}\right)^{\frac{1}{2}} . 180^0$, wo $\int \pi r^2$ das Trägheitsmoment, n der Torsionskoëffizient ist, d. h. das Gewicht, welches am Hebelarm von der Länge 1 ziehend dem Drahte die Drehung 1 giebt, die Drehung 1 heißt ein Drehungswinkel von $57^0\,17'\,44{,}8''$. Wir schreiben heutzutage für 180^0 das Bogenmaß π. Angewandt auf einen vertikalen Kreiscylinder, wo $\int \pi r^2 = \frac{M . r^2}{2}$ ist, wenn M die Masse, r der Halbmesser des des Cylinders ist, erhalten wir $T = \pi\sqrt{\frac{M . r^2}{2n}}$, für einen horizontalen Cylinder ist $T = \pi\sqrt{\frac{Ml^2}{12n}}$; wenn l die Länge des Cylinders ist. Zur bequemeren Berechnung vergleicht Coulomb die Torsionskraft mit der Schwerkraft am Pendel und erhält fur einen vertikalen Cylinder $n = \frac{Pa^2}{2\lambda}$; wo a Radius und P Gewicht desselben, λ Länge des Sekundenpendels ist; und $n = \frac{Pl}{12\lambda}$ für den

1) Mémoires de l'Académie roy. 1784. 229, die Ableitung der Formeln pag. 231 ff.

horizontalen Cylinder, wenn die Schwingungsdauer = 1 ist; ist sie das nicht, so müssen beide Ausdrücke noch dividiert werden durch T^2. Auf diese Weise kann Coulomb dann leicht den Torsionskoëffizienten für irgend einen Faden bestimmen, er thut das für Eisen- und Messingdraht und findet dabei, daß die Torsionskraft innerhalb gewisser Grenzen unabhängig ist von dem spannenden Gewichte. Das Experiment wurde so gemacht, daß an einem Draht ein cylinderförmiges Gewicht aufgehängt wurde, welches einen Zeiger trug, der über einem geteilten Kreise spielte, man drehte das Gewicht um irgend einen Winkel und beobachtet die Schwingungsdauer. Es ist daher die Torsionskraft bekannt und kann benutzt werden für die Messung der Anziehungs- und Abstoßungskraft der Elektrizität. Bei Anwendung von Metalldrähten ist dann noch eine Vorsicht anzuwenden, die Ruhelage der Drähte ist keine dauernd feste, sondern nur während kurzer Zeit dieselbe. Ein Metalldraht dreht sich frei hängend langsam aber dauernd nach einer Seite hin. Diese wunderbare Thatsache ist besonders von Reich beobachtet, der bei seinem Metalldraht in der Zeit vom 25. bis 27. Oktober 1849 in 24 Stunden eine Drehung von 18 und 20 Skalenteilen beobachtete[1]). Will man diese Unbequemlichkeit vermeiden und nimmt statt der Metalldrähte Fäden von gedrehter Seide, so ist man dem von Gauß[2]) beobachteten Fehler ausgesetzt, daß der Torsionkoëffizient nicht konstant ist, sondern mit dem den Faden spannenden Gewichte zunimmt. Frei von beiden Mängeln ist der einfache Kokonfaden, dessen Stärke bei vielen Versuchen mit der Drehwage auch völlig ausreichend ist.

80. Die nun bekannte Torsionskraft benutzte Coulomb zunächst 1785, um eine Boussole zu konstruieren, um den magnetischen Meridian genau zu bestimmen und die täglichen Variationen der Magnetnadel genau messen zu können, er giebt zwei verschiedene Konstruktionen derselben an. Die Ablesung geschah mit Hülfe des Mikroskops[3]).

1) Neue Versuche mit der Drehwage. Leipzig 1852. pag. 406.
2) Intensilas vis magneticae terrestris. 1833. § 9. Werke Band V. pag. 94 ff.
3) Mémoires de l'acad. roy. 1785. pag. 560.

Im selbigen Jahre erfolgte aber auch die Konstruktion seiner elektrischen Balance mit Metalldraht-Aufhängung. Die Konstruktion dieser Wage giebt Coulomb[1]) folgendermaßen an: Auf einem Glascylinder von zwölf Zoll Durchmesser und Höhe setzt man eine völlig schließende Glasplatte von 13 Zoll Durchmesser, welche von zwei etwa 20 Linien Durchmesser haltenden Löchern durchbrochen ist. Das eine dieser Löcher ist genau in der Mitte, in dasselbe ist eine 24 Zoll hohe Glasröhre fest eingekittet; auf deren oberen Ende befindet sich der Torsionskreis, welcher an seinem Rande eine Gradeinteilung besitzt. Der Kreis selbst ist in der Mitte durchbrochen und nimmt in diesem runden Loche einen Knopf auf, welcher darin leicht drehbar ist. In den unteren Teil dieses Knopfes ist der Silberfaden eingeklemmt, welcher die Balance tragen soll, am oberen Ende des herausragenden Knopfes befindet sich ein horizontaler Arm, welcher an seinem Ende rechtwinkelig umgebogen vor der Kreisteilung des Randes der Torsionsscheibe die Größe des Torsionswinkels abzulesen gestattet. Der Silberfaden, welcher mit seinem oberen Ende in den Knopf eingeklemmt ist, reicht durch die Glasröhre hinab in den unteren Cylinder, etwa bis zur Mitte desselben, hier trägt er einen Kupfer- oder Eisencylinder, welcher so schwer ist, daß er den Silberfaden spannt ohne ihn zu zerreißen. Dieser Metallcylinder ist oberhalb der Mitte horizontal durchbrochen, um einen sehr dünnen Wagebalken aufzunehmen, der dadurch hergestellt wird, daß ein Seidenfaden oder ein Strohhalm mit Siegellack gänzlich überzogen wird; an dem einen Ende wird dieser Wagebalken verlängert, durch einen Faden von Gummilack 18 Linien lang, an dessen Ende sich eine Hollundermarkkugel befindet von zwei oder drei Linien Durchmesser. An der entgegengesetzten Seite des Wagebalkens befindet sich ein Gegengewicht, um den Wagebalken horizontal zu erhalten, aus einer kleinen, vertikal stehenden, mit Terpentinöl getränkten Papierscheibe, welche außerdem auch die Oscillationen des Wagebalkens hemmt. Die zweite Öffnung des Glasdeckels befindet sich am Rande in einer Entfernung vom Mittelpunkte gleich der halben Länge des Wagebalkens, d. h. in etwa vier

---

1) Mémoires de l'acad. roy. 1785. pag. 569.

Zoll; sie ist so weit, daß man ungehindert eine an einem Gummilackfaden befestigte zweite Hollundermarkkugel von gleicher Dicke wie die erste hindurchschieben kann bis in die mittlere Höhe des Glascylinders, in welchem der Wagebalken horizontal schwebt. In dieser Höhe ist um den Cylinder ein in 360 Grad geteilter Papierstreifen an der Außenseite herumgeführt, welcher die Stellung des Wagebalkens abzulesen gestattet.

81. Um den ersten Versuch zu machen, dreht man den Torsionskreis so weit, daß die bewegliche Kugel des Wagebalkens unter dem zweiten seitlichen Loche des Glasdeckels steht; teilt man nun der zweiten Kugel durch Berühren mit einem Konduktor Elektrizität mit und führt sie durch die zweite Öffnung des Deckels in den Glascylinder bis zur Berührung mit der beweglichen Kugel, so verteilt sich die Elektrizität mit gleicher Dichtigkeit über beide Kugeln und es erfolgt Abstossung zwischen der festen Kugel und der des Wagebalkens. Coulomb beobachtet 36°, jetzt dreht er am Torsionskreis den Knopf in entgegengesetztem Sinne der Ablenkung des Wagebalkens um 126°. und beobachtet eine Ablenkung der beweglichen Kugel um 18°, so daß die Distanz der beiden Kugeln die Hälfte der früheren, die Torsion aber $126 + 18 = 144°$, d. h. das Vierfache der früheren ist; endlich dreht er oben um 567° und findet die Distanz der Kugeln $= 8^1/_2°$, so ist die Torsion $= 576°$, d. h. das 16fache der ersten, das Vierfache der zweiten. Aus diesen Versuchen schließt Coulomb: Die abstoßende Kraft zweier kleinen gleichartig elektrischen Kugeln ist umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung der Mittelpunkte.

Das analoge Gesetz für die Anziehung ist aber nicht zuerst von Coulomb ausgesprochen, sondern von Priestley[1]), indem er sagt: „Konnte man aus diesen Experimenten nicht folgern, daß das Anziehen der Elektrizität einerlei Gesetzen mit der Schwerkraft unterworfen sei, und sich mithin nach den Quadraten der Distanzen richte.“ Wie Priestley durch seine Versuche zu diesem Gesetz gekommen ist, ist absolut unerfindlich, er teilt keinen Versuch mit, der diese Hypothese recht-

1) Priestley, Geschichte der Elektrizität, pag. 489.

fertigte. Es bleibt also Coulombs ungeschmälertes Verdienst, das Gesetz abgeleitet zu haben.

In vier dieser ersten Arbeit angefügten Bemerkungen giebt Coulomb dann Anweisungen und Einschränkungen der Versuche in Bezug auf die Metalldrähte, daß dieselben vor ihrem Gebrauche zwei bis drei Tage durch ein Gewicht, halb so schwer wie das, welches dieselben zerreißen würde, gespannt sein müssen, damit die oben erwähnte freiwillige Drehung nicht zu stark eintrete. Dann bemerkt Coulomb, daß ein Teil der Eelektrizität der Kugel durch Mitteilung an die Luft verloren gehe und daß diese Menge abhängig ist von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft. Bei mäßig trockener Luft fand Coulomb, daß die Kugeln sich bei einer Torsion von 50° und einem Abstande von 30° in drei Minuten um einen Grad näherten, er führte seine Versuche, die zu einer Reihe gehören, in der Zeit von zwei Minuten aus, sodaß der Fehler vernachlässigt werden kann, zumal wenn man bedenkt, daß die Ablenkungen in Bogen nicht die Distanzen der Kugeln geben, bei größeren Ablenkungen ist der Ueberschuß des Bogens über die Distanz der Kugeln, welche durch die Sehne gegeben ist, erheblicher wie bei kleinen Ablenkungen, daher denn bei der Versuchsanordnung Coulombs die Fehler sich zum Teil aufheben. Will man bei recht feuchter Luft dennoch brauchbare Resultate erzielen, so muß man zunächst das Gesetz der Verminderung der Elektrizität durch einen Versuch bestimmen, und danach die erhaltenen Beobachtungen korrigieren.

In der vierten Bemerkung giebt er endlich eine Modifikation des Instrumentes, welche dasselbe zu einem sehr empfindlichen Elektroskop macht, die Silberfäden mit starker Torsion sind durch Seidenfäden ersetzt, die Dimensionen sind erheblich verringert, und an die Stelle der festen Hollundermarkkugel an isolierendem Stiele tritt eine kleine Metallkugel oder mit Goldschaum überzogene Hollundermarkkugel, welche durch einen Kupferdraht mit einer beliebigen Menge Elektrizität geladen werden kann.

Ein anderes Elektroskop beschreibt Biot[1]) aus den nach-

1) Biot, Traité de Physique II. pag. 349—50. 1816.

gelassenen Manuskripten Coulombs. Man nimmt ein gewöhnliches Trinkglas von 2 oder 3 Decimeter Höhe und Weite, bedeckt es durch einen Glasdeckel, der in seiner Mitte durchbohrt ist, um eine Elfenbein- oder Holzbüchse aufzunehmen, die einen Kokonfaden trägt, welcher in das Glas hängt und durch eine kleine Stecknadel straff gespannt wird. An das obere Ende derselben befestigt man einen horizontalen Faden von Gummilack, der am einen Ende eine kleine Scheibe von Flittergold trägt, am andern ein geringes Gegengewicht. Die Standkugel wird entweder von oben durch den Deckel oder von der Seite genähert, die zu diesem Zwecke durchbrochen ist. Dann teilt man der Goldscheibe etwas Elektrizität mit, dreht die Elfenbeinfassung etwas herum und läßt nun die verschiedenen zu vergleichenden Elektrizitätsmengen durch die Standkugel auf die drehbare Scheibe wirken, wo man, je nachdem die Elektrizität der ersten gleichartig oder entgegengesetzt ist, Abstoßung oder Anziehung erhält.

Doch zurück zu Coulomb. In einer folgenden Abhandlung[1]) dehnt er sein Gesetz für die Abstoßung auch aus auf die Anziehung, indem er den Wagebalken, welcher an einem Kokonfaden hängt, unter dem Einflusse einer genäherten Konduktorkugel oszillieren läßt und aus den Oszillationen das Gesetz ableitet, welches er am Schlusse dieser Arbeit ausspricht: „die Wirkung, sowohl die repulsive, wie die attraktive zweier gleich oder entgegengesetzt elektrischer Kugeln, also auch zweier elektrischer Moleküle, ist direkt proportional der Dichtigkeit der Elektrizität und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.“ Ist also die elektrische Masse e von einer zweiten e' um r entfernt, so ist die abstoßende oder anziehende Kraft $k = a \cdot \frac{e \cdot e'}{r^2}$.

Wesentlich neu bei diesen Versuchen ist die Anwendung der Oszillationsdauer; ist φ die wirkende Kraft, so ist die Oszillationsdauer proportional $\frac{1}{\sqrt{\varphi}}$; also $T = a\frac{1}{\sqrt{\varphi}}$; nimmt man

1) Mém. de l'Académie roy. 1785, pag. 578, das Gesetz pag. 611.

nun das Gesetz Coulombs als richtig an, so muß φ proportional sein $\frac{1}{d^2}$, wenn d die Distanz ist, also $T = a.d.$ Coulomb fand durch Versuche dies völlig bestätigt, scheinbare Ungenauigkeiten fielen fort, sobald er den Elektrizitätsverlust mit berücksichtigte.

82. Hiernach wendet sich Coulomb[1]) dem Elektrizitätsverluste zu, und beachtet beide Ursachen richtig. 1) Der Verlust durch die unvollkommene Isolierung durch die Aufhängevorrichtung, die nie ganz zu vermeiden ist, da es keinen vollständigen Isolator giebt; besonders hinderlich ist in dieser Beziehung die fast unvermeidliche Feuchtigkeitsschicht auf der Oberfläche der Isolatoren. 2) Der Elektrizitätsverlust an die Luft, dieser ist der bedeutendere. Um ihn zu untersuchen ohne den ersten dazu zu haben, ließ er die Standkugel erst an einem isolierenden Stifte befestigt sein, dann an vieren, und fand, daß die Abnahme der Elektrizität an dem betreffenden Tage dieselbe blieb, daraus folgerte er, daß dann die Ableitung durch die Luft als einzige Ursache des Verlustes anzusehen sei. Er leitete diesen sowohl experimentell wie analytisch ab.

Coulomb[2]) geht von einem bestimmten beobachteten Werte der Zerstreuung aus. Am 28. Mai 1785 hatte er beobachtet, daß die Elektrizität der Kugeln in seiner Torsionswage sich in jeder Sekunde um $^1/_{41}$ verringerte, bezeichnet man nun mit δ die jeweilig vorhandene Elektrizitätsmenge, so ist der Elektrizitätsverlust $-d\delta$ proportional der vorhandenen Elektrizität δ und der Zeit, während welcher die benachbarte Luftschicht die Elektrizität ableiten darf, diese soll bezeichnet sein mit dt, und es ist dann $-d\delta = \frac{1}{82}.\delta.dt$; der Faktor ist $^1/_{82}$, da die Torsionswage das Doppelte des Verlustes wirksam zeigt; indem jede Kugel um $\frac{1}{p}$ verliert, ist die Verringerung der abstoßenden Wirkung in der Drehwage $\frac{2}{p}$, und das ist es, was man beobachtet. Setzen wir allgemein statt $\frac{1}{41} = \frac{1}{p}$, so

1) Mém. de l'Académie roy. 1785, pag. 612 ff.
2) Mém. de l'Académ. roy. 1785. pag. 619.

ist die Formel: $-d\delta = \frac{1}{2p} \cdot \delta \,.\, dt$; das vollständige Integral dieser Gleichung ist: $-\log \text{nat} \,.\, \delta = \frac{t}{2p} + C$. Und wenn man die zuerst vorhandene Elektrizitätsmenge $= D$ setzt, so erhält man $\frac{t}{2p} = \log \text{nat} \,.\, D - \log \text{nat} \,.\, \delta$ oder für decadische Logarithmen: $0{,}4343 \,.\, \frac{t}{2p} = \log D - \log \delta$. Beachten wir die Einrichtung der Torsionswage, wo die Kugeln gleichgroß sind, wir deswegen $\frac{1}{p}$ beobachten, so ist diese Formel zu schreiben:

$$0{,}4343 \,.\, \frac{t}{p} = \log D^2 - \log \delta^2; \text{ also } p = \frac{0{,}4343 \,.\, t}{\log D^2 - \log \delta^2}.$$

Im Anschluß an diese theoretische Untersuchung giebt Coulomb dann eine ausführliche Tabelle über Beobachtungen, die ich im Auszuge hier wiedergebe mit den von Druckfehlern befreiten Werten von $\frac{1}{p}$, welche Rieß corrigierte[1]).

1) Am 28. Mai Temperatur 15½, Barometer 28,3″, Hygrometer 75°. Dauer der Beobachtungen von $6^h\,32'\,50''$ — $7^h\,17'$ früh.

Ablenkungswinkel	Torsionswinkel	Zeit zwischen 2 Beob. in Minuten	$\frac{1}{p}$
30°	120	5¼	$\frac{1}{40}$
„	100	6¼	$\frac{1}{38}$
„	80	8½	$\frac{1}{42}$
„	60	10	$\frac{1}{40}$
„	40	14	$\frac{1}{42}$
„	20		

2) Am 29. Mai Temp. 15¼. Barom. 28,4″, Hygr. 69°. Dauer von $5^h\,45'\,30''$— $6^h\,51'$ früh.

Ablenkungswinkel	Torsionswinkel	Zeit zwischen 2 Beob. in Minuten	$\frac{1}{p}$
30°	130	7½	$\frac{1}{56}$
„	110	9½	$\frac{1}{61}$
„	90	9¾	$\frac{1}{54}$
„	70	20¾	$\frac{1}{58}$
„	40	18	$\frac{1}{54}$
„	20		

1) Rieß, Reibungselektrizität I, pag. 120.

3) Am 22. Juni Temp. $15^3/_4$, Barom. 27,11″, Hygr. 87°. Dauer von $11^h 53' 45''$—$12^h 16' 15''$ früh.

Ablenkungswinkel	Torsionswinkel	Zeit zwischen 2 Beob. in Minuten	$\frac{1}{p}$
20°	80		
		3	$\frac{1}{13.5}$
"	60		
		3	$\frac{1}{11}$
"	40		
		$5^1/_4$	$\frac{1}{13}$
"	20		

4) Am 2. Juli Temp. $15^3/_4$, Barom. 28,2″, Hygr. 80°. Dauer von $7^h 43' 40''$—$8^h 17' 30''$ früh.

Ablenkungswinkel	Torsionswinkel	Zeit zwischen 2 Beob. in Minuten	$\frac{1}{p}$
20°	80		
		$4^1/_3$	$\frac{1}{24}$
"	60		
		$8^1/_3$	$\frac{1}{29}$
"	40		
		12	$\frac{1}{30}$
"	20		

Aus diesen Versuchen ergiebt sich, daß der Zerstreuungskoëffizient mit dem Wassergehalte der Luft wächst, da bei gleicher Temperatur dieser direkt proportional ist den Graden des Saussureschen Haarhygrometers. Beobachtet man bei verschiedenen Temperaturen, so findet man die Abhängigkeit des Koëffizienten von der Menge des vorhandenen Wassers und ihrem Verhältnisse zu der Sättigungsmenge bei der jeweiligen Temperatur. Daß dieser Zerstreungskoëffizient für + und − Elektrizität derselbe sei, hat später Biot nachgewiesen, daß er unabhängig von dem Stoffe, woraus die Kugel besteht, zeigte Coulomb durch Untersuchung verschiedener Kugeln.

83. Eine zweite wichtige Untersuchung schließt sich der ersten an, es handelt sich um den Elektrizitätsverlust durch die isolierenden Stützen.[1]) Zunächst fand Coulomb, daß die Stützen auch in einiger Entfernung von den Kugeln Elektrizität zeigen, und zwar gleichartige mit der Kugel. Diese auf der Stütze gefundene Elektrizitätsmenge nimmt ab mit der Entfernung von der Kugel, aber nicht gleichmäßig, sondern anfangs langsamer, dann sehr schnell und schließlich giebt es

1) Mém. de l'Académ. roy. 1785, pag. 628 ff.

eine Länge a, bei welcher überhaupt keine Elektrizität mehr auf der Stütze gefunden wird. Diese Länge hängt ab von der Menge der auf der Kugel befindlichen Elektrizität und von dem Oberflächenzustande der Stütze, sodaß $a = b \cdot e^2$ ist, wenn b eine Konstante ist, die mit der Feuchtigkeit der Oberfläche der Stütze zunimmt, e die Elektrizitätsmenge an einem Punkte der Oberfläche der Kugel ist. Stellt man nun die in den einzelnen Punkten der Länge a gefundenen Elektrizitätsmengen als Lote auf a dar, so bilden die Endpunkte eine Parabel. Die Versuche stellte Coulomb auf die Weise an, daß an die Stelle der mit einem Glas- und Schellackfaden isolierten Standkugel eine an einem 40,5 cm langen Seidenfaden befestigte gleich große Kugel gehängt wurde, und ein großes Quantum Elektrizität der Kugel in Berührung mit der am Torsionsbalken befestigten mitgeteilt wurde, nun zeigte sich zunächst eine sehr beträchtliche Abnahme der Elektrizität, bis schließlich der Zerstreuungskoëffizient auf dieselbe Größe gesunken war, welche vorher bei völliger Isolierung als Zerstreuungskoëffizient der Luft beobachtet war. War die Luft feucht, so war der Seidenfaden, weil stark hygroskopisch, stärker leitend; machte Coulomb den Faden viermal so lang = 162 cm, so war er imstande das doppelte Quantum Elektrizität zu isolieren, daher tritt in obiger Formel für a das Quadrat von e auf.

Für verschiedene Isolatoren ist aber das Verhältnis der isolierten Elektrizitätsmenge zu der dazu gehörigen Länge des Isolators sehr verschieden, so isolierte ein 18 Linien langer Schellackfaden die Kugel, die vorher durch einen 15 Zoll langen Seidenfaden isoliert war, und isolierte noch als die Elektrizität nahezu verdreifacht wurde. So ist nach Coulomb Schellack und zwar dunkeles der beste Isolator. Rieß dagegen findet später, daß das rötliche, ganz reine Schellack sich als das beste erweise.[1])

Es ist bei diesen Versuchen gleichgültig, ob man es mit positiver oder negativer Elektrizität zu thun hat, sowohl der Zerstreuungskoeffizient der Luft, wie der Elektrizitätsverlust durch die Stützen ist für beide gleich groß, wie Biot später zeigte.

1) Rieß, Reibungselektrizität I. pag. 139.

84. Coulomb wandte sich nun dazu die Verteilung der Elektrizität auf der Oberfläche von Leitern zu untersuchen und fand, daß der Stoff der leitenden Kugel, sofern sie nur ein Leiter ist, für die Verteilung der Elektrizität auf der Oberfläche gleichgültig ist, daß also Kugeln verschiedener Substanzen aber gleicher Größe gleiche Mengen Elektrizität auf der Oberfläche aufzunehmen imstande seien, und bestätigte, daß die Elektrizität in stationärem Zustand lediglich auf der Oberfläche, nicht im Innern sich befindet, sowohl durch Experimente, wie durch Anwendung seines Grundgesetzes der Wechselwirkung auf theoretischem Wege.[1])

Von größter Wichtigkeit sind dann wieder die Untersuchungen, welche Coulomb in den Jahren 1787 und 88 über die Verteilung der Elektrizität über zwei sich berührende Körper von verschiedener Gestalt anstellte. Um diese Untersuchung durchzuführen, ändert Coulomb zunächst seine Drehwage ab, indem er die Dimensionen vergrößert und an die Stelle der Standkugel eine durch einen Schellackfaden isolierte kleine Platte von Goldpapier bringt, welche den Wagebalken ablenkt. Mit der kleinen Papierplatte berührt Coulomb irgend eine Stelle, des mit Elektrizität versehenen, in Bezug auf die elektrische Dichtigkeit zu untersuchenden Körpers, bringt dann die Scheibe durch einen Schlitz im Deckel in die Torsionswage, so, daß die Kugel des Wagebalkens die Mitte der Scheibe berührt. Gewöhnlich kommt es nun darauf an, die Dichtigkeit zweier Punkte des Körpers mit einander zu vergleichen, da stellt sich dann die Schwierigkeit ein, daß durch die Zerstreuung der Elektrizität in die Luft es nicht möglich ist die gleichzeitigen Dichtigkeiten zu prüfen, da, wenn erst die Stelle a, dann die Stelle b untersucht wird, letztere Elektrizität verloren hat, während der Untersuchung der ersteren. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, führte Coulomb die sogenannte alternierende Messung ein[2]), d. h. zuerst berührt er die Stelle a mit der kleinen Goldblattscheibe, führt diese in die Torsionswage und beobachtet die Ablenkung α, dann berührt er die Stelle b nach Entladung der kleinen Scheibe

1) Mém. de l'Académ. roy. 1786. pag. 67 ff.
2) Mém. de l'Académ. roy. 1787. pag. 426.

und beobachtet in der Wage die Ablenkung β. Nach derselben Zeit, welche zwischen diesen Versuchen liegt, bringt er die Scheibe wieder auf a, und erhält dann in der Wage die Ablenkung α'. Dann ist das Verhältnis seiner Dichtigkeiten an den Stellen a und $b = \frac{\alpha + \alpha'}{2\beta}$. Diese dreifache Prüfung, wendet Coulomb nur bei geringen Mengen an, bei größeren Elektrizitätsmengen, führt er fünf Beobachtungen aus und erhält die Ablenkungen $\alpha, \alpha', \alpha''$ und β, β'. Dann nimmt er als wahrscheinlichsten Wert des Verhältnisses das arithmetische Mittel von $\frac{\alpha + \alpha'}{2\beta}$, $\frac{2\alpha'}{\beta + \beta'}$ und $\frac{\alpha' + \alpha''}{2\beta'}$. Coulomb prüft auf diese Weise die elektrische Verteilung für die verschiedensten Fälle, z. B.[1]) untersucht er zwei isolierte Kugeln, von denen die eine acht Zoll Durchmesser hatte und mit einer Elektrizitätsmenge A geladen war, die andere einen Zoll Durchmesser hat. Diese letztere ist unelektrisch und wird mit der ersteren in Berührung gebracht, sie möge der ersteren $\frac{A}{n}$ Elektrizität entziehen, es bleibt also $\frac{n-1}{n} \cdot A$ auf der ersten Kugel. Werden die Berührungen fortgesetzt, nachdem man die zweite Kugel nach jedem Versuch wieder entladen, so ist nach p Berührungen die Menge auf Kugel $1 = \left(\frac{n-1}{n}\right)^p \cdot A$. Durch Experiment findet sich nach 49 Berührungen als Rest von der anfänglichen Elektrizitätsmenge 244 noch 66, es ergiebt sich daraus $n = 38{,}04$ und das Verhältnis der Dichtigkeit auf der kleinen Kugel zu der auf der großen Kugel ergiebt sich $= 1{,}67 : 1$, während durch angenäherte Bestimmung das Verhältnis $1{,}65 : 1$ gewesen wäre. Es stimmt also Theorie und Experiment hinreichend gut überein.

Von der großen Zahl Beobachtungen, die in den beiden Arbeiten in 1787 und 88 enthalten sind, will ich nur noch eine erwähnen, welche einen bündigen Beweis für die Anordnung der Elektrizität auch auf der Oberfläche enthält, und noch heute zu dem Zweck wiederholt zu werden pflegt. Coulomb[2]) isoliert einen kugelförmigen Leiter, welchen er elektrisiert hat, und macht sich

1) Mém. de l'Académ. roy. 1787. pag. 435.

2) Mém. de l'Académ. roy. 1788. pag. 620 ff.

eine anschließende Enveloppe, welche in zwei Hälften zerschnitten ist, welche isoliert aufgesetzt werden können, zieht man die Hüllen dann zurück, so findet man fast die ganze Elektrizität des Konduktors auf die Hülle übergegangen und nur eine nicht wahrnehmbare Menge ist auf der Kugel zurückgeblieben. Man nimmt dazu eine isolierte Kugel, welche in eine gleichfalls isolierte Hohlkugel, deren Hälften auseinander geschlagen werden können, paßt und erhält nach der Umhüllung die innere Kugel unelektrisch, die Kugelschalen aber elektrisch.

Ich bin so auf die Arbeiten Coulombs etwas ausführlicher eingegangen, als auf die irgend eines Vorgängers, weil sie das wichtigste enthalten, was bis zum Jahre 1790 in der Elektrizität beobachtet und berechnet ist, und weil sie für die ganze Auffassung der Elektrizität fundamental gewesen sind, sie sind die Voraussetzungen, auf denen die ganze folgende Forschung weiterbaute, die bis in unsere Tage normativ sind, und weit davon entfernt, vergessen zu werden oder Widerspruch zu finden, nur bestätigt worden sind mit Hilfe feinerer Meßapparate, wie die Torsionswage ist. Alle diese Apparate beruhen aber auf der gleichen Kraft, der Torsion, sie wenden wir nicht nur für die Meßmethoden der Elektrostatik an, sondern, wie schon Coulomb that, bei Magneten, und später auch bei Galvanometern.

Mit Coulomb können wir nun auch diese Periode schließen, er brachte die Kenntnis der Elektrostatik auf eine so große Höhe, daß eine geraume Zeit verstrichen ist, ehe in dieser Richtung etwas Neues hinzugefügt wurde. Coulomb selbst hat von 1789 an keine Arbeit über Elektrizität veröffentlicht, er wandte sich mechanischen und magnetischen Studien zu. Es bedurfte einer ganz eigentümlichen Entdeckung, um das Studium der Elektrizität nach einer andern Richtung hin bedeutend zu erweitern, das war die Entdeckung Galvanis.

III. Von der Entdeckung des Galvanismus bis zum Jahre 1819.

Erstes Kapitel.

Galvani und Volta.

85. Die Entdeckung der Berührungselektrizität durch Galvani und ihre richtige Deutung durch Volta ist der Ausgangspunkt eines neuen Zweiges der elektrischen Wissenschaft gewesen, des Galvanismus, der anfangs kaum erkannt, bald sich von der sonstigen Elektrizitätslehre derartig emanzipierte, daß er selbständig neben der Elektrizitätslehre als abgeschlossenes Ganze auftreten zu wollen schien, und erst in unsern Tagen wieder so eng mit der statischen Elektrizität verbunden wurde, daß das eine nur als eine Modifikation des andern erscheint. Der Name Galvanismus rührt von Galvani her, und doch hat dieser Mann alles gethan, um die Großartigkeit seiner Entdeckung in ein falsches Licht zu setzen, während sein größerer Landsmann, der uns schon bekannte Volta, das neugeborene Kind gewissermaßen aus der Taufe hob.

Luigi (Aloysi) Galvani war 1737 zu Bologna geboren, studierte Medizin, und ließ sich als praktischer Arzt in Bologna nieder, wo er 1762 Dozent an der Universität wurde, und nach dem Tode seines Schwiegervaters Nachfolger desselben als Professor der Anatomie, 1798 starb er zu Bologna, nachdem er ein Jahr früher mit der neu gegründeten cisalpinischen Republik in Konflikt geraten war.

86. Die Entdeckung des Galvanismus hat eine lange Vorgeschichte und ist durchaus nicht so unvermittelt, wie es nach den meisten Lehrbüchern scheint, gleichsam zufällig entdeckt, sie hängt vielmehr eng mit der sogenannten tierischen Elektrizität zusammen, und es bedurfte einer langen fortgesetzten Arbeit, ehe aus den ersten Beobachtungen Galvanis das sich herausschälte, was wir heute Galvanismus zu nennen gewohnt sind. Die tierische Elektrizität ist, wenn anders den Berichten Glauben geschenkt werden darf, zuerst an Menschen wahrgenommen. Von Theodorich dem Großen wird erzählt, er habe

im Gehen Funken gesprüht, und von der Zeit an hat es niemals an Menschen gefehlt, von welchen solches behauptet wurde. Berühmt war seiner Zeit eine Dame in Nordamerika, welche 1837 während zweier Monate jeden Ankommenden mit Funken[1]) empfing. Daß in der That einzelne Personen, wenn man sie isoliert, imstande sind durch einfaches Berühren einen Kondensator zu laden, ist in neuerer Zeit konstatiert[2]) worden, daß diese Erscheinungen aber besondere Eigentümlichkeiten des menschlichen Organismus seien, ist durchaus nicht nachgewiesen, es ist vielmehr höchst wahrscheinlich, daß die Elektrizität solcher Individuen durch irgend welche Reibung der trockenen Haut entstanden sei, wie wir ja gezeigt haben, daß bis zu Nollet die Elektrizität der Elektrisiermaschine lediglich durch Reiben mit der trockenen Hand hervorgerufen wurde. Sollte man es bei diesen Beobachtungen nicht mit solcher auf sehr normale Weise erzeugten Elektrizität zu thun haben, würde die Sache freilich grade so unaufgeklärt sein, wie die von Fechner konstatierten magnetischen Einflüsse einzelner Personen. Im allgemeinen wird man gut thun, äußerst skeptisch diesen Sachen gegenüberzustehen, besonders in unserer Zeit, wo gewöhnlich spiritistischer Unsinn noch als Surrogat dabei aufzutreten pflegt.

Nur von einzelnen wunderbaren Tieren ist eine elektrische Wirkung behauptet und nachgewiesen. Das sind die elektrischen Fische, welche unter dem Gesamtnamen Krampffische zusammengefaßt werden, da man die elektrische Natur, des von ihnen erteilten Schlages erst später erkannt hatte. Der erste dieser Fische, welche die Fähigkeit haben, einem sie Berührenden einen mehr oder weniger starken Schlag zu geben, war der Zitterrochen (*raja torpedo*), welcher im Mittelmeer seinen Wohnsitz hat, besonders an der italienischen Küste. Natürlich war dieser Fisch lange bekannt, man hielt aber die von ihm erteilten Schläge für schnelle Muskelbewegungen und glaubte nicht an einen Zusammenhang mit der Elektrizität. In diesem Sinne spricht sich z. B. Réaumur aus. Nachdem nun aber in der Leydner Flasche eine Quelle heftiger elektrischer Schläge

---

1) Rieß, Reibungselektrizität II. pag. 455.

2) Du Bois-Reymond, tierische Elektrizität I. pag. 18 ff.

entdeckt war, mußte die Ähnlichkeit der Empfindungen bei beiden Arten von Schlägen den Gedanken nahe legen, daß man es bei dem Zitterrochen mit elektrischen Schlägen zu thun habe, jedoch erst 1773 veröffentlichte Dr. John Walsh die von ihm im Jahre vorher zu La Rochelle angestellten Versuche, durch welche die elektrische Natur des Fisches unzweifelhaft gemacht wurde; er zeigte nämlich[1]), daß der elektrische Schlag nur erteilt werde, wenn man durch einen Leiter der Elektrizität zwischen dem Rücken und Bauch des Fisches Verbindung herstellte. So erhielten zwei sich anfassende Menschen, von denen einer die Hand auf den Rücken, der andere auf den Bauch des Fisches legte, einen heftigen Schlag, berührt man ihn aber mit beiden Händen auf einer Stelle, so erfährt man nur einen schwachen Stoß. Nachdem der Fisch einen Schlag erteilt hat, ist er ermattet und nicht imstande, gleich wieder einen ebenso starken Schlag zu erteilen, erst nach geraumer Zeit erhält er seine Kraft wieder. Neben dem Zitterrochen, war besonders der seit 1680 bekannte Zitteraal (*gymnotus electricus*) für die Untersuchungen geeignet, zuerst beschrieben von van Berkel. Während der Zitterrochen in europäischen Gewässern haust, lebt der Aal in den Strömen Südamerikas, und während jener höchstens 20 Zoll lang wird, ist die gewöhnliche Länge des *gymnotus* drei bis vier Fuß, er erreicht aber auch beträchtlichere Längen und wiegt bis zu 20 Pfund. Dementsprechend ist auch sein Schlag ein bedeutend stärkerer, man sagte, er könne einen Menschen töten. Das ist freilich übertrieben, aber er ist kräftig genug um dem Fische eine gute Waffe gegen seine Angreifer zu bieten.

An dem Zitterrochen weist nun J. Walsh selbst nach, daß die Elektrizität ihren Sitz in einem ganz bestimmten Organ habe, welches von der Hirnschale und den Kiefern sich seitlich erstrecke bis zu den Knorpeln der Seitenflossen, und der Länge nach bis zu dem Knorpel, welcher Brust und Bauch voneinander trenne. Das Organ bestehe dann aus einzelnen Säulen, deren Anzahl mit dem Alter des Tieres zunehme; bei einem Rochen fand Walsh 1182 solcher Säulen, jede von einem

1) Fischer, Geschichte der Physik, V. pag. 862.

Durchmesser von etwa $^1/_3$ Zoll. Die ganze Säule ist durch eine Reihe von Membranen getrennt, zwischen denen eine Flüssigkeitsschicht zu liegen scheint. Diese Organe bringen den elektrischen Schlag allein hervor, während der übrige Teil des Körpers als Leiter zu fungieren hat. Dasselbe wurde am Zitteraal von J. Hunter 1773 nachgewiesen. Die Anhäufung statischer Elektrizität bei den Fischen hat erst Santi Linari[1]) am Elektroskop nachgewiesen, und Schönbein gab 1841 die Untersuchungen heraus, welche die statische und strömende Elektrizität klar machten und sogar die Messung beider ermöglichten[2]).

Natürlich trieb diese höchst wundersame Entdeckung auch komische Blüten; so wollte Walsh an dem Gymnotus einen sechsten Sinn entdeckt haben, und Schilling meinte gar, durch einen in die Nähe gebrachten Hufeisenmagneten die elektrische Kraft des Fisches vernichtet zu haben. Diese beiden Fische fanden nun bald noch gleichartige Genossen im Zitterwels und elektrischen Stachelbauch, ihre Untersuchung hatte aber auch noch das Gute, zur allgemeinen Untersuchung der elektrischen Verhältnisse der Tiere zu führen.

87. Zu der großen Zahl Gelehrter, welche sich in jener Zeit mit tierischer Elektrizität beschäftigt haben, gehörte auch der Arzt Galvani, wie das aus seinen Schriften mit Sicherheit geschlossen werden kann, seine große Entdeckung aber stand mit diesen Versuchen in keinem direkten Zusammenhang. Es hat sich über diese Entdeckung eine bestimmte Erzählung festgesetzt, welche auch Poggendorff[3]) warm verteidigt. Danach war Galvani's Frau leidend und sollte Froschschenkel genießen. Galvani als liebenswürdiger Gatte präparierte diese selbst, indem er den Schenkeln die Haut abzog, ein Teilchen des Rückens daran ließ und so die Präparate niederlegte. Während er hinausgegangen war, seine Frau aber mit dem Gehilfen und noch einem Manne im Arbeitszimmer zurückblieb, wo auf einem Tische eine Elektrisiermaschine stand, in deren

1) Poggendorffs Annalen 1837. Band 40, pag. 643.
2) Rieß, Reibungselektriz. II. pag. 457.
3) Poggendorff, Geschichte der Physik, pag. 899.

nicht zu großer Nähe ein Froschpräparat lag, brachte der Gehilfe die Spitze des Messers an die Kruralnerven des Frosches, ohne besondere Absicht, und jene andere Person drehte zufällig die Elektrisiermaschine und zog aus dem Konduktor einen Funken. Da beobachtete seine Frau an dem Froschschenkel Zuckungen und eilte ihren Mann zu rufen, damit auch er diese wunderbare Erscheinung sähe; er kam, überzeugte sich und so war die Entdeckung gemacht. Das soll dann auch ein in Bologna erschienenes Sonett an Galvani beweisen, welches heißt:

> „Sie wars, nicht du, die neue Lebenstriebe
> In hautentblößter Frösche Gliedern fand.“

So bei Poggendorff. Allein in Galvanis Schrift hierüber findet sich dergleichen nicht. Er erzählt den Hergang folgendermaßen[1]):

„Ich zerschnitt einen Frosch und bereitete ihn, wie in Fig. ∽ zu sehen (die Froschschenkel sind ihrer Haut beraubt, die Kruralnerven sind daran bloßgelegt und stehen mit einem kurzen Stück des Rückgrats in Verbindung, sodaß die Schenkel an diesem durch die Nerven hängen); legte ihn ohne etwas zu vermuten, auf die Tafel (Tisch), worauf die elektrische Maschine stand, die gänzlich vom Konduktor getrennt und ziemlich weit davon entfernt war; als aber einer meiner Zuhörer die Spitze des Messers von ungefähr ein wenig an den inneren Schenkelnerven des gedachten Frosches brachte, so wurden die Muskeln aller Glieder sogleich so zusammengezogen, als ob sie von heftigen Konvulsionen ergriffen würden. Ein anderer von den Gegenwärtigen glaubte zu bemerken, es geschähe nur zur Zeit, wenn der Konduktor einen Funken gäbe. Er bewunderte die Neuheit der Sache und machte mich, da ich eben ganz etwas anderes vorhatte, aufmerksam darauf. Ich wurde sogleich von der Begierde, das nämliche zu erfahren und das Verborgene davon zu erforschen, hingerissen, etc.“

---

1) Aloysi Galvani, Abhandlung über die Kräfte der tierischen Elektrizität etc. Deutsch von Dr. J. Mayer. Prag 1793, pag. 3. Da mir der Originaltext nicht zugänglich, citiere ich stets nach dieser Übersetzung.

Wir sehen, die poetische Schilderung Poggendorffs trägt weniger den Stempel der Wahrheit, wie diese von Galvani selbst gegebene. Die Beobachtung dieser Zuckungen des Schenkels beim Entladen des Konduktors veranlaßten Galvani nun, die Bedingungen zu prüfen, unter welchen dieselben stattfanden. Zunächst war notwendig, damit die Zuckung geschehe, daß die Nerven durch einen leitenden Körper verbunden wurden, so daß die Ursache also nicht in einem Reiz an der Berührungstelle zu suchen sei. Es erfolgte die Erscheinung auch nur, wenn ein wirklicher Funke als Entladung des Konduktors auftrat. Das Experiment wurde wiederholt an lebenden Tieren mit demselben Erfolg, auch war es gleichgültig ob das Froschpräparat in der Luft oder im luftleeren Raume unter dem Recipienten der Luftpumpe sich befand. Am stärksten zeigten sich die Wirkungen an älteren Tieren und von Blut völlig entleerten Muskeln, notwendig aber war die Berührung der Nerven, je mehr diese bloß gelegt waren, desto stärker war die Wirkung.

Die stärkste Quelle der elektrischen Funken ist das Gewitter, was war also natürlicher, als daß Galvani versuchte, durch Blitze die Zuckungen hervorzurufen. In der That sah er, so oft Blitze hervorbrachen, die Muskeln heftig erschüttert und zwar gleichzeitig, sodaß die Zuckungen dem Donner vorangingen. Ja selbst wenn stürmisches Wetter war oder Regenwolken ohne Blitze vorüberzogen, zeigten sich Zuckungen in den in eine „elektrische Stange“ (Franklinsche Beobachtungsmethode) eingeschalteten Froschpräparaten[1]), sodaß sie empfindlicher waren, wie die sonst angewandten Elektroskope.

Um nun eine geordnete Prüfung der atmosphärischen Elektrizität durchzuführen, hing Galvani an dem eisernen Gartengeländer eine Anzahl Froschpräparate mittels eiserner Häkchen auf, und beobachtete daran zu Zeiten auch Zuckungen, wenn der Himmel ganz heiter war. Er wußte sich die Erscheinung anfangs nur durch Veränderungen der atmosphärischen Elektrizität zu erklären, als er aber die Versuche im Zimmer dergestalt wiederholte, daß er das Präparat auf eine

1) Galvanis Abhandlung, pag. 29.

Metallplatte legte und den durch die Nerven gesteckten Draht die Platte berühren ließ, zeigten sich bei jeder Berührung dieselben Zuckungen[1]). Nun war der Einfluß irgend welcher äußeren Elektrizitätsquellen ausgeschlossen. Die Ursache der Zuckungen mußte also in dem aus Froschschenkel, Metallplatte und Metallhaken bestehenden Kreise liegen.

88. Um den Sitz der Elektrizität zu finden, legte Galvani nun den Froschschenkel auf eine isolierende Glas- oder Harzscheibe und berührte mit einem Bogen das Ende des Kruralnerven im Rückenmark einerseits, andererseits aber die Muskeln am Fuße, bestand der Bogen aus Glas, so erfolgte keine Zuckung, bestand er aus Kupfer und Eisen, oder Kupfer und Silber, so gab es lang dauernde Zuckungen. Der Umstand nun, daß diese sich auch zeigten, wenn er den Bogen allein aus Eisen bestehen ließ, wenn sie gleich zuweilen aufhörten, brachte Galvani, zumal er überhaupt im tierischen Organismus eine Quelle der Elektrizität vermutet hatte, zu der festen Überzeugung, daß der metallische Bogen lediglich als Leiter fungiere, während die Elektrizität allein in dem Organismus zu suchen sei. Durch weitere Untersuchung mit geriebenen Glas- und Siegellackstangen glaubte er nun feststellen zu können, daß der Sitz der Elektrizität allein in den Nerven zu suchen sei, und die Elektrizität sich von dort aus auf die Muskeln verbreite, daß ferner das Blut und die Menge der an den Nerven liegenden Muskeln hindernd wirke. Das gab Galvani zu sehr gewagten Schlüssen für die Erklärung des Schlaganfalles bei älteren Leuten Veranlassung; er glaubte dazu berechtigt zu sein, da er auch an warmblütigen Tieren, z. B. einem Schaaf, seine an Fröschen beobachteten Erscheinungen konstatiert hatte. In dem folgenden Kapitel: „Mutmaßungen und Folgerungen", geht Galvani weit über das Thatsächliche hinaus, er versucht darin die Elektrizität zur Ursache sehr vieler, um nicht zu sagen, aller Lebenserscheinungen zu machen. Man kann ihm das nicht sonderlich verargen. Seine sämtlichen Zeitgenossen, die diese italienischen Versuche mit großer Begierde wiederholten, verfielen fast alle in denselben Irrtum, nur

1) Galvanis Abhandlung, pag. 35.

daß ihre Vorstellungen von dieser tierischen Elektrizität oft gar komische waren.

Hatte Galvani den Froschschenkel wie eine Kleistsche Flasche aufgefaßt, wo der Nerv die Stelle der inneren Belegung, die Muskeln die der äußeren, der äußere Rand des Nerven aber die trennende Schicht, das Glas, repräsentierte; so meinten andere, die Nerven seien von einer besonderen elektrischen Materie durchflossen, welche bald aus Äther und Phlogiston, bald aus Sauerstoff, Lichtstoff und Wärmestoff[1]) und dergleichen bestehen sollte. Es ist unmöglich und auch nutzlos, alle die Erklärungsversuche jener Zeit aufzuzählen. Die Erscheinung war so neu, so unerwartet, daß sie in den verschiedenen Gelehrten jener Zeit, die überhaupt sehr zu phantastischen Anschauungen neigten, die wundersamsten Vorstellungen zeitigen mußte, besonders weil die Kenntnis der Chemie damals noch so unbedeutend war, und in dieser Wissenschaft die einzelnen richtigen Kenntnisse noch ganz unvermittelt, durch alte unhaltbare Vorstellungen vielfach verdunkelt, neben einander standen. So war selbst ein A. v. Humboldt Anhänger der Galvanischen Theorie, welche er gegen Voltas Ansichten verteidigen zu müssen glaubte.

Einzelne besonnene Physiker freilich, wie Gren in Halle, der Herausgeber des bekannten Journals, meinten, es sei doch wohl sehr voreilig, aus Galvanis Versuchen physiologische Erklärungen ziehen zu wollen, und den Grund in einer „tierischen Elektrizität" zu suchen, die vielleicht gar nicht existiere. Ja sein Genosse bei den Versuchen, Reil, Professor der Medizin in Halle von 1787—1810, erklärte ganz offen, daß alle Versuche nur eine große Reizbarkeit der Nerven für die Elektrizität zeigten, daß diese aber von außen käme, und zwar sei der Sitz des Reizes in den Metallen zu suchen, die Erregbarkeit im organischen Körper[2]). Damit ist Reil ein Vorläufer des berühmteren Volta.

89. Derjenige, welcher die Entdeckung Galvanis ins rechte Licht setzte und die wichtigen Entdeckungen daran schloß, welche uns veranlaßten, mit Galvanis Entdeckung 1790 einen

1) Fischer, Geschichte d. Physik, VIII. pag. 868.
2) Gren, Journal der Physik VI. 1792. pag. 409.

neuen Abschnitt zu beginnen, war Volta. Gleich nach dem Bekanntwerden der tierischen Elektrizität ging Volta an die Arbeit; er war durch seine zahlreichen elektrischen Untersuchungen, die ich seiner Zeit aufgeführt habe, der geschickteste hierzu, trotzdem war er längere Zeit Anhänger der Lehre von der Elektrizitätserzeugung durch den Organismus. Die erste Nachricht hiervon finde ich in einem vom 5. April 1792 aus Pavia datierten Briefe des Professors der Medizin Carminati an Galvani, worin dieser das beifällige Urteil Voltas mitteilt und Versuche Voltas anführt, wie er mit Hilfe des Kondensators die Menge der zu den Zuckungen nötigen Elektrizität gemessen habe; dabei glaubt Volta, daß die Nerven negativ, die Muskeln positiv elektrisch seien, während Galvani das Gegenteil glaubte. In einem späteren Briefe Voltas an den Arzt Baronio in Mailand glaubte Volta jene Verteilung der natürlichen Elektrizität, wie er sie nennt, nachgewiesen zu haben mit Hilfe eines Versuches an Leydener Flaschen. Galvani ist in einem Erwiderungsschreiben gern bereit, sich dem Urteil des berühmten Fachmannes zu unterwerfen, sucht aber einzelne Fragen aufzuwerfen, die geeignet erscheinen, seine Ansicht zu stützen, und geht dabei auf Prozesse des Lebens sehr weitläufig ein.

Volta war noch im Jahre 1793 eifriger Anhänger der tierischen Elektrizität. In dem Werke über tierische Elektrizität widmet er Galvani das ganze erste Kapitel; er zeigt, wie die „tierische Elektrizität" grundverschieden ist von der Elektrizität der Fische, welche mit besonderen Organen ausgerüstet sind, und wo die Entladung der Elektrizität in einem „Schlage" von dem Willen des Tieres abhängt; er faßt die Theorie Galvanis kurz zusammen, indem er sagt: Nerven und Muskeln haben stets Elektrizität, aber sie ist im Gleichgewicht, erst durch die Berührung mit dem Metall wird dieses gestört und dann durch die Leitungsfähigkeit des Bügels wieder hergestellt, in Form einer Entladung[1]). Genau genommen war

1) Schriften über die tierische Elektrizität von D. Al. Volta, aus dem Italienischen übersetzt von J. Mayer. Prag 1793. pag. 4. Da ich auch in der Folge nach dieser Übersetzung citiere, werde ich als Titel nur Volta, Tierische Elektrizität, angeben.

dies nicht Galvanis ursprüngliche Anschauung, Volta geht dabei etwas weiter und betritt damit bereits die Bahn, die ihn zu seiner größten Entdeckung führen sollte.

Während Volta nun in dieser ersten Abhandlung fortfährt, Galvanis Versuche und Anschauungen zu wiederholen und durch eine Reihe neuer Versuche zu bestätigen, geht er in der zwei Monate später geschriebenen zweiten Abhandlung zu Versuchen über, die seine Anschauungen wesentlich zu modifizieren geeignet waren. Er erklärt zunächst, woher die Zuckungen in dem Froschschenkel kommen, wenn derselbe in der Nähe eines mit einem Funken entladenen Konduktors sich befindet, er erklärt[1]) sie durch den sogenannten Rückschlag „the returning stroke“ des Engländers Mahon[2]), d. h. durch die plötzliche Wiedervereinigung der durch die Nähe des elektrisierten Konduktors in dem Leiter (hier Froschschenkel) geschiedenen Elektrizität. Dieser Rückschlag kann so stark sein, daß lebende Wesen dadurch getötet werden; eine häufige Art der Tötung durch den Blitz, welcher das getötete Tier gar nicht getroffen, sondern nur in seiner Nähe niedergefahren ist.

Die ferneren Beobachtungen zeigten Volta nun, daß der Einfluß der elektrischen Entladung durch die Nerven durchaus nicht immer mit einer einfachen Erschütterung derselben verbunden sei, sondern unter Umständen besser als eine Erregung der sensiblen Nerven aufgefaßt werde. Wenn nämlich das Auge oberhalb und unterhalb mit Metallen, die am sogenannten Schließungsbogen befestigt waren, berührt wurde (die untere Berührung stellte Volta gewöhnlich erst im Munde her), dann erschien im Augenblick der Berührung ein heller Schein vor den Augen[3]), was sich Volta als eine Reizung des Sehnerven erklärt. In gleicher Weise erregte er die Geschmacksnerven, indem er die Spitze der Zunge mit einer feinen Staniolbelegung versah, auf die Mitte der Zunge eine Silber- oder Goldmünze legte und nun die beiden Metalle mit einem Draht berührte, sofort stellte sich derselbe Geschmack ein, wie wenn man die Zunge an den Strahlenbüschel eines künstlichen elektrisierten

1) Volta, Tierische Elektrizität, pag. 70.
2) Principles of electricity. London 1779.
3) Volta, Tierische Elektrizität, Vorrede, pag. 8.

Konduktors hält, ohne Funkenentladung zu erhalten[1]). Ganz besonders hebt aber Volta hier hervor, daß es durchaus notwendig sei zum Gelingen des Versuches, zwei verschiedene Metalle anzuwenden, Blei oder Zinn einerseits, Gold, Silber, Messing oder Eisen andererseits.

90. In der Erzeugung dieses säuerlichen oder erdigen Geschmackes hat Volta aber einen Vorgänger, der also gewissermaßen die erste Beobachtung über den Galvanismus gemacht hat, das war ein Deutscher Namens Sulzer[2]). Dieser Sulzer hatte einen wunderbaren Lebenslauf, er war 1720 in Winterthur geboren, war dann Hofmeister in Zürich, Pfarrvikar zu Maschwanden, Hauslehrer zu Magdeburg, Professor der Mathematik am Jochimsthal in Berlin, der Philosophie an der Ritterakademie, Mitglied der Akademie und endlich Direktor ihrer philosophischen Klasse.

Seine Entdeckung[3]) bestand darin, daß man bei Berührung der Zunge mit einem Blei- und Silberstück, deren Ränder sich berühren, einen Geschmack auf der Zunge verspürt, der dem des Eisenvitriols nahe kommt, während jedes Metall einzeln die Empfindung nicht hervorbringt, ebensowenig die Berührung mit beiden von einander getrennten Metallen. Sulzer ist aber weit davon entfernt, diese Erscheinung durch Elektrizität zu erklären, man kann also, selbst wenn Volta die Beobachtung kannte, was er selbst Aldini gegenüber durchaus bestreitet, obwohl er Sulzer persönlich kannte, das Verdienst Voltas durchaus nicht schmälern. Übrigens scheint dieser Versuch mit der Geschmackserregung auf der Zunge gleichzeitig auch in London gemacht zu sein, Lichtenberg berichtet wenigstens Ausgangs 1792, daß ihm ein Freund aus London, den Namen nennt er nicht, geschrieben habe, ihm sei ein merkwürdiger Versuch mit der Erregung der Geschmacksempfindung gelungen, und nun beschreibt[4]) er einen Versuch ganz analog dem von Volta. Es wird dabei Blei und Silber angewendet. Vielleicht

1) Volta, Tierische Elektrizität, pag. 112 ff.

2) Histoire de l'Académie etc. de Berlin 1754, pag. 356, Note.

3) Voltas Brief an Cavallo in Grens Journal der Physik. VIII. 1794. pag. 407.

4) Gren, Journal der Physik. VI. 1792.

dürfen wir an Bennet denken, der mit Lichtenberg im Briefverkehr stand. Es ist kaum anzunehmen, daß dieser Versuch nur eine Nachahmung des Voltaschen gewesen, denn dann wäre es wohl natürlich, daß der wahre Autor mitgenannt wurde, Volta nämlich veröffentlichte seinen Versuch erst 1793. Die Voltaschen Versuche hat Lichtenberg übrigens alle mit Erfolg nachgemacht.

Bei Voltas Versuchen ist nun noch zweierlei besonders hervorzuheben, erstens, daß er den Geschmack verschieden findet, je nachdem Zinn an der Spitze und Silber auf der Mitte, oder Silber an der Spitze und Zinn in der Mitte sich befinden, im ersten Falle ist der Geschmack säuerlich, im zweiten alkalisch scharf, fast bitter, zweitens betont Volta, daß dieser Geschmack während der ganzen Dauer der Berührung bleibe, während doch die Zuckungen nur zeitweilig zu beobachten sind[1]). Es liegt darin der Anfang zu dem später so wichtigen Unterschiede zwischen mechanischer und chemischer Wirkung des galvanischen Stromes, und ist ein gewichtiges Zeugnis für die scharfe Beobachtungsgabe Voltas.

In dieser ersten Arbeit finden sich auch schon die Keime zu seinem späteren Spannungsgesetz; er teilt hier die Metalle in drei Kategorien: 1) Zinn und Blei, 2) Eisen, Kupfer, Messing, 3) Gold, Silber, Platina, und hat Elektrizität bei Benutzung eines Metalles aus 1), mit einem aus 2) oder 3) zur Berührung, dagegen liefert ihm 2) und 3) keine Elektrizität[2]). Ebenso betont er, daß zwei Metalle notwendig sind; zeigt sich wider Erwarten auch eine elektrische Wirkung bei nur einem berührenden Metall, so glaubt Volta die Ursache in geringen Unterschieden der chemischen Konstitution oder in Verschiedenheiten der Oberflächen suchen zu können.

91. Wir sehen Volta nun stufenweise fortschreiten in unausgesetztem Suchen nach Wahrheit, jetzt ist er bereits in Gegensatz getreten zu Galvani. Galvani wie viele andere können ihm auf dem betretenen Pfade nicht folgen, und doch ist er allein der rechte. Es ist höchst interessant zu verfolgen,

1) Volta, Tierische Elektrizität, pag. 142.
2) Volta, Tierische Elektrizität, pag. 122, Note.

wie die allmähliche Durchführung der Voltaschen Anschauung vor sich geht. Mit dem Jahre 1794 geht Volta zum offenen Kampf über gegen die „tierische Elektrizität". Während bisher aber seine Ansicht, daß die Berührung der Metalle die einzige Ursache sei für die Elektrizitätserregung, nur eine unbewiesene Vermutung war, machte er sich nun daran, dies zu erweisen. Sollte Galvani recht haben, dass der Sitz der Elektrizität im Froschschenkel zu suchen sei, und der metallische Bogen eigentlich nur Auslader, wie bei einer Kleistschen Flasche sei, so mußte ein Metall hinreichen, die Zuckungen zu erzeugen, oder auch ein beliebiger anderer Leiter. Zunächst nahm Volta nun glasharte Stahldrähte, legte einen frischen, präparierten Froschschenkel so über zwei Gläser mit Wasser, daß in das eine der Kruralnerv, in das andere das Ende des Muskels tauchte. Nun bog er den Stahldraht in die beiden Gläser, bei vier Sorten fand er schwache Zuckungen drei- bis viermal hintereinander, beim fünften aber keine, während die anderen bei demselben Froschpräparat wirkten. Nun untersuchte er, woher diese Erscheinung bei dem fünften käme, er tauchte daher das eine Ende des Drahtes in siedendes Wasser, während das andere kalt blieb, stellte er nun schnell, ehe Abkühlung des erwärmten Endes eingetreten war, Verbindung zwischen den beiden Glasnäpfen her, so erfolgten auch bei diesem Draht drei bis vier Zuckungen. War nun die Erregbarkeit der Nerven soweit abgestumpft und der Draht soweit abgekühlt, daß mit diesem so verschieden warmen Draht keine Wirkung mehr erzielt werden konnte, so erfolgte sie im vollen Maße wieder, sobald das eine Ende des Drahtes durch Glühen weich gemacht war, während das andere hart blieb. So zeigte er, daß in der That verschiedene Härte und verschiedene Temperatur der berührenden Stellen bei ein und demselben Metall hinreicht, die elektrischen Erscheinungen zu liefern. Mit demselben Erfolg wiederholt Volta die Versuche mit Silber-, Zinn-, Gold-Drähten. Daraus hält er sich berechtigt, den Schluß zu ziehen, daß bei den Drähten, welche in unbearbeitetem Zustande Zuckungen liefern, diese eben künstlich erzeugten Unterschiede schon von selbst vorhanden sind.

Ebenso beweisend ist der Versuch, den er macht mit einer

Kette isolierter unter sich verbundener Menschen. Der Erste berührt mit seinem einen Finger den Augapfel des zweiten, während der dritte die Zunge des zweiten berührt mit einer Hand, mit der andern aber ein Froschpräparat hält, dessen zweites Ende vom vierten angefaßt ist. Nehmen nun eins und vier in die angefeuchteten Hände zwei verschiedene Metalle, die sie zur Berührung bringen, so entstehen im Froschschenkel Zuckungen, im Auge des zweiten der Lichteindruck und auf der Zunge desselben der saure Geschmack, nehmen aber eins und vier direkt ihre Hände ineinander mit Ausschluß der Metalle, so entsteht nichts. Daher, sagt Volta, kann man diese Elektrizität gerade so gut „metallische" wie tierische nennen. So sind zur Erregung eines elektrischen Stromes drei Leiter in einem Kreise nötig, zwei verschiedene Metalle und ein flüssiger Leiter, oder auch zwei verschiedene flüssige Leiter und ein Metall; er unterscheidet hier bereits zwischen trockenen und feuchten Leitern und spricht die Thatsache aus, daß drei Metalle in Berührung keine Elektrizität zu erzeugen vermögen.

92. Dies nachzuweisen bediente er sich eines Duplikators, wie ich ihn oben beschrieben und zeigte den Grad der durch bloße Berührung erzeugten Elektrizität an demselben. Dieser Versuch fehlt noch heute als erster Fundamentalversuch bei keiner Vorlesung über Galvanismus. Dabei ist noch zu erwähnen, daß Volta diese Bezeichnung, Galvanismus, so viel ich ersehe, zuerst 1796 gebraucht[1]. Obgleich er also in der Theorie ein entschiedener Gegner Galvanis war, wollte er doch die Verdienste dieses Mannes nicht geschmälert wissen. Diese Versuche sind für Volta äußerst wichtig gewesen. Bis zu der Zeit redet er von der Erregung der Elektrizität durch Berührung mit Metallen stets so, daß der Sitz der Elektrizitätserregung an den Kontaktstellen zwischen Metall und Froschschenkel zu suchen sei, jetzt zeigte er, daß zwei verschiedene Metalle in Berührung gebracht, durch diese bloße Berührung Elektrizität erzeugten und zwar, daß das eine +, das andere — Elektrizität an dem Elektroskop zeigte. Von jetzt an erst ist

1) Gren, Neues Journal III. 1796.

Voltas Ansicht gegen jede Annahme tierischer Elektrizität. Schon hatte Volta verlangt, die Anhänger der tierischen Elektrizität sollten ihm einen Versuch der Zuckungen des Froschschenkels machen ohne Anwendung eines Metalles, und in der That war dieser Anforderung entsprochen durch Galvani selbst, der durch einfache Berührung des Kruralnerven mit dem Muskel des Schenkels Zuckungen hervorrief. Allein Volta hatte nachgewiesen, daß diese Zuckungen wesentlich bedingt seien in ihrem Entstehen durch die Verschiedenheit der Berührungsstellen zwischen Nerv und Muskel. Er dehnt damit, das früher über die Zuckungen bei Anwendung nur eines Metalles gefundene Resultat aus auf die so von ihm genannten Leiter zweiter Art, die Flüssigkeiten, sodaß auch hier elektrische Spannungsdifferenzen bei verschiedenen chemischen Konstitutionen oder auch bei nur verschiedenen Oberflächenbeschaffenheiten anzunehmen sind, während von einer durch den tierischen Lebensprozeß oder gar durch den Kreislauf des Blutes erzeugten Elektrizität gar nicht mehr die Rede sein kann.

Übrigens war Voltas Hauptgegner nicht Galvani selbst, sondern andere Forscher. In Deutschland speziell A. v. Humboldt, welcher 1796 ein zweibändiges Werk über die tierische Elektrizität herausgab und dem animalischen Stoff fast noch mehr Gewicht beilegte wie Galvani selbst. Ein anderer Gegner Voltas war der Arzt Créve in Mainz, welcher jede Mitwirkung der Elektrizität bei den Zuckungen abstritt, und für die Ursache der Erscheinung ein ganz besonderes Fluidum ansprach, dessen Natur unbekannt, dessen Wirkung die Zuckungen wären[1]). Es giebt noch gar mancherlei Theorien, die um die Zeit für den Galvanismus auftauchten, der ephemere Charakter derselben überhebt mich der Mühe, sie hier alle zu nennen, sie wurden überholt und in die Rumpelkammer verwiesen durch die folgenden glänzenden Entdeckungen Voltas.

93. Nur noch einer Entdeckung, die dieser Zeit angehört, will ich Erwähnung thun, es ist die des Dr. Asch[2] zu Oxford, im Jahre 1795, daß der galvanische Strom die Flüssigkeit

1) Créve, Beiträge zu Galvanis Versuchen etc. 1793.
2) Fischer, Geschichte, VIII, pag. 649.

speziell das Wasser zersetze, indem Zink und Silberplatten durch eine Wasserschicht getrennt, derartige Veränderungen zeigen, daß sich auf der Oberfläche des Zinks Zinkoxyd niederschlage, welches aus dem Zink und Sauerstoff des Wassers sich bilde. Als v. Humboldt diesen Versuch wiederholte, sah er während der Oxydation am Silber Blasen aufsteigen, welche Wasserstoff enthielten[1]). Es war das die erste Entdeckung der chemischen Wirkung des Galvanismus.

94. So ging das alte Jahrhundert zu Ende und es war der Streit über die tierische Elektrizität noch nicht beendet, trotzdem daß die französische Republik, die in den ersten Jahren ihrer Existenz jede wissenschaftliche Thätigkeit durch ihre rohe Grausamkeit unmöglich gemacht hatte, 1797 eine eigene Kommission aus der mathematisch-physikalischen Klasse des Nationalinstituts bildete zur Untersuchung der tierischen Elektrizität, welcher Coulomb präsidierte. Die Voltaschen Untersuchungen wurden wohl bestätigt aber weiter kam man nicht. Da leitete Volta selbst als geschickter Steuermann das Schifflein in den sichern Hafen. Am 20. März des Jahres 1800 schrieb Volta seinen ersten berühmten Brief an Sir Joseph Banks, dem derzeitigen Präsidenten der Roy. Soc. in London, in welchem er die später nach ihm benannte Voltasche Säule beschreibt[2]).

„Ich versorgte mich mit einigen Dutzend kleiner Platten von Kupfer oder Messing oder, was das beste ist, von Silber, von einem Zoll Durchmesser etwa, und mit einer gleichen Anzahl Platten von Zinn oder, was bei weitem besser ist, Zink, von nahe gleicher Größe und Gestalt . . . . Außerdem schnitt ich eine Anzahl hinlänglich großer Kartonstücke oder Hautscheiben oder von irgend einer andern Materie, welche schwammig also fähig ist, Wasser oder eine andere nötige Flüssigkeit hinreichend aufzunehmen und festzuhalten . . . Diese Platten werden so aufeinander gelegt, daß stets die beiden Metallscheiben sich nach Art des Fundamentalversuches in dem-

---

1) Fischer, Geschichte, VIII, pag. 654.

2) Phil. Transact. 1800, pag. 403. Die Beschreibung auf pag. 405, gelesen am 26. Juni.

selben Sinne berühren, die einzelnen Plattenpaare aber werden durch jene feuchtgemachten Zeug- oder Fellscheiben getrennt." Es war das also eine Vervielfältigung seines Metallkontaktversuches, nun zeigte sich kräftige Elektrizität an beiden Enden einer so erzeugten Säule, und zwar an dem einen positive, an dem andern negative Elektrizität, sodaß, wenn die Reihenfolge der Scheiben Silber, Zink, Pappe war, das untere Ende am Nicholsonschen Duplikator negative, das obere Zinkende positive Elektrizität zeigte. Um die Pappstücken vor dem Trockenwerden zu hüten, hatte Volta die Säule außen herum mit Wachs oder Pech überzogen, auch giebt er an, daß man eine beliebige Anzahl solcher Säulen miteinander verbinden kann, indem das letzte Metall der ersten wieder mit dem ersten der zweiten in Verbindung gebracht wird. Von höchster Wichtigkeit war Volta, daß zwei Plattenpaare die doppelte Elektrizität wie eins, drei die dreifache etc. zu geben schienen, ein Resultat, welches nicht streng richtig ist, es tritt nur eine Vermehrung, aber keine Verdoppelung, Verdreifachung etc. ein.

Eine zweite Form giebt er ebenfalls in diesem Briefe an, es ist der Becherapparat, der später zur Konstruktion der galvanischen Elemente führte. Volta nennt diesen Apparat: „à couronne de tasses". Er besteht aus einer Reihe von Glas- oder Porzellanbechern, welche mit Wasser (oder Kochsalzlösung) gefüllt sind, in diese tauchen Zink- und Kupfer- oder Silberstreifen ein, welche über den Becher seitlich emporragen, sodaß immer das Zinkblatt des ersten mit dem Kupferblatt des zweiten Bechers in Verbindung gesetzt werden kann etc., dann ist die Kupferplatte des ersten Bechers negativ, die Zinkplatte des letzten positiv elektrisch. Solcher Becher wendet er 60 an und bekommt mit einer solchen Vorrichtung heftige Erschütterungen, er wiederholt damit den Versuch zur Erzeugung des Lichteindrucks im Auge, der Geschmacksempfindung auf der Zunge, des Knalles beim Durchleiten der Entladung durch das Ohr, kurz aller der Erscheinungen, welche sonst bei Entladung der Froschschenkel erfolgten.

Es kann nicht überraschen, daß er diese Säule mit dem Apparat der elektrischen Fische vergleicht und die Ähnlichkeit zwischen den beiden Apparaten so groß findet, daß er sogar

vorschlägt, diese Säule „Organe electrique artificiel" zu nennen, später sucht er diese Vermutung zu beweisen, wir werden uns weiter unten damit beschäftigen.

Die Untersuchung über den Charakter der an den Enden auftretenden Elektrizität stellte Volta nun mit einem Kondensator und geriebenen Glas- und Siegellackstangen an, früher hatte er aber auch in der Geschmacksempfindung ein Mittel kennen gelernt + und — Elektrizität zu unterscheiden, er ließ nämlich vom + Konduktur einer Elektrisiermaschine auf die Zungenspitze Elektrizität übergehen und fand den Geschmack säuerlich, ließ er dasselbe vom — Konduktor geschehen, so war der Geschmack alkalisch gewesen, dies hatte ihm früher zur sichern Unterscheidung des + oder — Charakters eines Metalles bei der Berührung beider gedient. Auch jetzt wandte er diese seine Säule wieder an um Erschütterungen in den Muskeln, Geschmack auf der Zunge und Lichtblitz vor den Augen zu bekommen. Als er zwei abgestumpfte Sonden in die Ohren gesteckt hatte, ging beim Öffnen der Kette, d. h. beim Unterbrechen der Berührung mit den beiden Enden der Säule, den Polen, ein Schlag durch den Kopf mit krachendem und brausendem Geräusch, von solcher Stärke, das Volta ihn nicht zu wiederholen wagte.

Wie opferfreudig übrigens die Forscher damals waren, beweist ein Beispiel A. v. Humboldts, der, um den Einfluß des Blutes und des normalen Zustandes der Nerven auf die Erregung sogenannter tierischer Elektrizität zu prüfen, sich auf dem Rücken eine handgroße Wunde beibrachte und dieselbe auf die mannigfachste Weise elektrisch untersuchte, wobei er heftige Schmerzen aushalten mußte. Auch Volta erwähnt, daß in Wunden der Schmerz, welcher beim Durchgang der Elektrizität durch dieselbe entsteht, ein sehr stechender sei, und größer, wenn das negative, als wenn das positive Ende hineingebracht werde[1]).

Zur Erklärung der Wirkungsweise der Säule fügt Volta hinzu, daß er glaube, wenn zwei Körper (Metalle) von verschiedenem Leitungsvermögen einander direkt berühren, so ent-

1) Gilbert, Annalen d. Physik, VI, 1800. pag. 343.

steht ein großer Andrang (Nicholson gebraucht „energy“) der + Elektrizität von einem zum andern, ein geringerer, wenn die Berührung durch eine Flüssigkeitsschicht geht, dabei ist es gleichgültig, wie groß die Berührungsfläche der Metalle ist, aber notwendig muß die das Wasser berührende Oberfläche groß sein. Durch Erhöhung der Temperatur wird die Wirkung verstärkt; wählt man Zink und Silber zur Berührung, so feuchtet man am besten die Tuchscheiben einfach mit Wasser oder Salzwasser, bei Anwendung von Zinn aber sind alkalische Laugen vorzuziehen.

95. Schon ehe dieser Brief Voltas in der Roy. Soc. gelesen wurde, gab Banks denselben an Antony Carlisle, welcher denselben mit seinem Freunde William Nicholson eifrig durchlas und sich sofort an die Wiederholung der Versuche machte, sodaß die Resultate[1]) derselben eher veröffentlicht wurden als der Brief Voltas selbst. Dieser Nicholson hat eine merkwürdige Laufbahn gemacht; geb. 1753 in London, war er anfänglich Beamter der ostindischen Kompagnie, dann Handlungsreisender und endlich Civilingenieur, besonders für Wasserleitungen, gleichzeitig war er als Litterat in London ganz hervorragend thätig, er starb 1815. Seine Arbeiten sind besonders chemischen Inhalts, doch hatte er schon 1788 und 1789 elektrische Untersuchungen, darin seinen Duplikator, ähnlich dem Bennetschen, veröffentlicht.

Sein Freund Sir Antony Carlisle, 1768 geb. und 1840 in London gestorben, war Arzt und hervorragender Chirurg, auch 16 Jahre lang Professor der Anatomie; von ihm besitzen wir nur physiologische und anatomische Arbeiten außer dieser einen physikalischen Entdeckung.

Die mehr chemische Richtung dieser beiden Herren mochte es wohl bedingen, daß sie ihre Aufmerksamkeit mehr den chemischen Wirkungen des Stromes zuwandten, wie überhaupt um die Zeit die Chemie in England bedeutend mehr kultiviert wurde, wie die Physik. Ich habe schon der Entdeckung des

---

1) Nicholson, A., Journal of natural philosophy, IV, 1800, pag. 179; ich entnehme die Beschreibung Gilberts Annalen d. Physik, VI, pag. 340 ff.

Dr. Asch gedacht. Eine andere Vorarbeit darf ich übrigens nicht übergehen, es ist die des Italieners Fabbroni in Florenz und des schon erwähnten deutschen Arztes Créve, welche gleichzeitig 1796 darauf aufmerksam machten[1]), daß, wenn man zwei sich berührende Metalle in Wasser tauche, eine Zersetzung des Wassers eintrete, indem z. B. das Zink dem Wasser den Sauerstoff entziehe und Zinkoxyd bilde, während, wenn es allein hineingetaucht werde, es diese Kraft nicht besitze. Sehr verschieden waren aber die Ansichten über die Ursache dieser Erscheinung, während Créve dieselbe auf elektrische Wirkung der berührten Metalle auf das Wasser zurückführte und deswegen die Elektrizität selbst aus Wasserstoff und Wärmestoff bestehend dachte, eine Meinung, die er selbst später widerrief, wollte Fabbroni diese Oxydation durch das Verhältnis von Kohäsion und Attraktion zwischen dem Zink und Wasser ableiten, wir würden heute sagen durch die chemische Affinitätskraft, und behauptete, daß nicht die Elektrizität die Ursache der Zersetzung, sondern vielmehr die Folge derselben sei. Er war so gewissermaßen ein Vorläufer der später von vielen angenommenen chemischen Theorie der galvanischen Elemente.

Um nun zu Nicholson und Carlisle zu kommen, so referiere ich nach Gilbert weiter. Schon am 30 April 1800 hatte sich Carlisle eine aus 17 halben Kronenstücken und ebensoviel Zinkstücken, die durch in Salzwasser gelegte Pappe getrennt waren, bestehende Säule konstruiert, die Ordnung war Silber-Zink-Pappe von unten nach oben. Nachdem sie sich überzeugt hatten, daß die Säule die bekannten Erschütterungen gab, wollten sie die Entladung durch einen Draht bewerkstelligen, lötheten also an das untere Silberende einen Draht und brachten auf das obere Zinkstück einen Wassertropfen, um die Berührung besser zu machen; jetzt beobachtete Carlisle, daß an dem Drahtende kleine Bläschen aufstiegen, welche Nicholson für Wasserstoff hielt. Um der Sache näher zu treten, versahen sie beide Pole der Säule mit Drähten aus Messing und leiteten dieselben in eine kleine Röhre mit Wasser; jetzt stiegen am Silberpol d. h. dem negativen, Bläschen auf, wäh-

1) Fischer, Geschichte d. Physik, VIII. pag. 648.

rend der positive Pol dunkelorange anlief und schließlich schwarz wurde. Während der $2^1/_2$stündigen Dauer der Einwirkung setzte sich die Bläschenentwicklung am negativen Pol fort, das hier erzeugte Gas war Wasserstoff, da es mit einer gleichen Menge Luft gemischt bei Annäherung eines brennenden Fadens verpuffte, das positive Ende aber sonderte weißliche Wölkchen ab, die sich bald erbsengrün färbten und zu Boden fielen, d. h. es hatte sich Kupferoxyd gebildet. Diese Entdeckung machten sie am 2. Mai. Vier Tage später ließ Carlisle die Kupferdrähte einer aus 36 Plattenpaaren bestehenden Säule in Lackmustinktur ragen, da zeigte sich am positiven Ende, daß die Tinktur rot gefärbt wurde, daß dort also entweder eine Säure entstehe, oder Sauerstoff die blaue Tinktur rot färbe, während am negativen Ende die blaue Farbe bestehen blieb. Endlich wandte Nicholson Platindrähte an, und erzeugte nun beide Gasarten, Wasserstoff am negativen und Sauerstoff am positiven Pole, was dadurch klar wurde, daß letzteres Gas halb soviel Volumen einnahm wie ersteres, es gelang ihm aber nicht, jedes Gas einzeln aufzufangen. Auch bemerkte er, daß die Zersetzung zunehme mit größerer Annäherung der Drahtenden, daß sie ganz aufhöre, wenn dieselben zu weit voneinander entfernt wurden und wenn sie sich berührten. Schließlich bemerkte Carlisle, daß eine Temperaturerhöhung des Wassers bei der Zersetzung nicht stattfinde.

Wenn wir nun auch sagen müssen, daß Carlisle und Nicholson nicht die ersten waren, welche eine Zersetzung des Wassers durch den Strom bemerkten, so waren sie doch die ersten, welche die Sache planmäßig untersuchten und vor allem beide Gase, sowohl Sauerstoff, wie Wasserstoff nachwiesen.

Auch in Deutschland fanden sie einen Nebenbuhler, der die Versuche unabhängig von ihnen anstellte, es war das der damals in Jena privatisierende Johann W. Ritter, der als Mitglied der Münchener Akademie 1810 erst 33 Jahre alt starb. Ritter schreibt im September 1800[1]), daß er mit einer aus 64 Plattenpaaren bestehenden Säule das Wasser zersetze, und beide Gase

1) Gilbert, Annalen d. Physik, VI. 1800. pag. 470. (Durch einen Druckfehler ist das Datum im September vergessen.)

einzeln auffange, sodaß er den Charakter jedes einzelnen wohl feststellen könne; er zeigte auch, daß alles Wasser zersetzt werde und daß die beiden Gasarten miteinander verpufft, dasselbe Wasser wiedergeben, welches vorher zersetzt sei. Desgleichen wendet er die Säule an bei Ammoniak und zur Niederschlagung von Kupfer aus Kupfervitriol. Diese Thatsache der Zersetzung der Metallverbindungen ist von höchster Wichtigkeit, es ist die Grundlage für die Galvanoplastik. Ich habe aber nirgend Ritter als den Entdecker angegeben gefunden, was er doch thatsächlich ist.

Durch seine Versuche wurde Ritter zu der Behauptung veranlaßt, daß es keine Flüssigkeit gebe, welche nicht durch den galvanischen Strom zersetzt werde, und zum Teil wurde diese Behauptung gerechtfertigt durch die Untersuchungen der Engländer Cruikshank, Henry und Davy, welche alle möglichen Flüssigkeiten zu zersetzen suchten; es bleibt daraus nur hervorzuheben, daß Cruikshank zuerst auf diese Weise salpetersaures Silber herstellte und Henry als ein Polende eine Quecksilbersäule anwandte und Gase nicht zersetzungsfähig fand, was später widerlegt ist, daß endlich Cruikshank eine besondere Art Becherapparat konstruierte, die ihm sehr wirksam schien. Er fertigte sich einen viereckigen Holzkasten aus sehr trockenem Holz, schnitt in die inneren Ränder der Längsseiten Falzen ein etwa $^1/_{10}$ Zoll tief, und schob in dieselben zusammengelötete Zink-Silberplatten, die Fugen schmierte er sorgfältig mit Wachs aus und goß in die Zwischenräume zwischen den Metallplatten, welche etwa 0,4 Zoll voneinander entfernt waren, salzsaures Ammoniak. Dieser Trogapparat lieferte ihm starke Schläge und Funken, die am Tage sichtbar waren.[1])

96. Die Arbeiten der Deutschen auf diesem Gebiete hatten einen wesentlichen Nutzen, der nicht zu unterschätzen ist. Während Volta völlige Identität zwischen dem elektrischen und galvanischen Agens behauptete und gewissermaßen damit ein Vorläufer unserer heutigen Ausdrucksweise ist, wenn wir sagen: die Elektrizität der Batterie ist dieselbe wie die der Maschine, nur in einem andern Zustande, so geht Volta doch weiter, in-

1) Fischer, Geschichte, VIII. pag. 683.

dem er nicht nur eine Identität des Wortes Elektrizität bei seinen Berührungsversuchen und bei Reibungsversuchen meint, sondern auch eine Identität des Zustandes beider Elektrizitäten. Volta war damit ja im Gegensatz zu vielen Zeitgenossen getreten, die den Galvanismus als etwas durchaus heterogenes gegenüber der Elektrizität ansprachen. Wenn dies auch falsch war, so war Volta doch zu weit gegangen, vor allem da die damaligen Versuche durchaus noch nicht die Frage nach der Identität beider Elektrizitäten abschließend zu beantworten gestatteten. Da ist es das Verdienst der Deutschen, besonders Gilberts und Ritters, vor einem vorschnellen Schluß gewarnt zu haben. Ritter führt einige Versuche an, die ihm eine Verschiedenheit zwischen Galvanismus und Reibungselektrizität zu beweisen schienen, z. B. daß Vitrioläther den Galvanismus isoliere, aber die Elektrizität leite, daß eine heftige Entladung einer Batterie nicht Wasserzersetzung liefere, aber eine dem Schlage nach 1000mal geringere Menge Galvanismus das Wasser völlig zersetze.[1])

Auch andere Versuche[2]) waren in Deutschland um die Zeit angestellt, die die Kenntnis des Vorganges zu bereichern geeignet waren. Von Arnim und Boeckmann fanden nämlich gleichzeitig, daß es ganz unnütz sei, zu Anfang und zum Schluß der Säule zwei Plattenpaare zu setzen, es sei dieselbe Wirkung, wenn nur eine Platte an jedem Ende liege, am einen Zink, am andern Silber. Arnim fand nämlich, daß, wenn in einer Säule: „Silber, Zink, Flüssigkeit, Silber, Zink", Nummer 1 mit 5 berührt wurde, nicht mehr Elektrizität entwickelt wurde als wenn 1 mit 4, oder 2 mit 4 verbunden wurde. Eine Thatsache, die Gilbert veranlaßte, seine Säule von vornherein mit einer Platte anzufangen und einer zu schließen, die aber ihre Erklärung erst durch Volta erfahren sollte. Gilberts Säule war also: „Zink, Flüssigkeit, Silber, Zink, Flüssigkeit etc." bis endlich: „Silber, Zink, Flüssigkeit, Silber" den Schluß bildete. Noch heute wird die Konstruktion auf diese Weise durchgeführt, nur daß man an Stelle des teuren Silbers das minderwertige Kupfer setzt.

1) Gilbert, Annalen, VI. pag. 471.
2) Fischer, Geschichte, VIII. pag. 749.

Pfaff und Ritter entdeckten gleichzeitig die Anziehung, welche die Elektrizität der Pole der Säule ausübt. Bisher hatte man stets mit geschlossenen Säulen gearbeitet, da die Engländer gefunden zu haben glaubten, daß die Elektrizität der Säule nicht durch die Luft wirke. Ritter[1]) beweist diese Anziehung sehr klar durch den Versuch, daß er die Drähte, welche mit den Polen der Säule verbunden werden sollen, an den andern Enden mit zwei Goldblattstreifen versieht, die einander bis auf eine Linie genähert werden, und so parallel herabhangen; wird jetzt die Säule mit den Drähten in Verbindung gebracht, so ziehen die Goldblättchen einander an bis sie schließlich zur Berührung kommen und so die Kette schließen. Es ist das gewissermaßen der Vorversuch zum Säulenelektroskop, wir werden später darauf zurückkommen. Auf analoge Weise zeigte Ritter aber auch, daß die Elektrizität an den gleichartigen Polen zweier gleichen Säulen sich abstoße.

Ebenso wichtig ist die von Boeckmann[2]) gefundene Thatsache, daß die Stärke der erhaltenen Funken genau im Verhältnis stehe zu der stärkeren oder schwächeren Oxydation des Zinks. Eine sanguinische Natur könnte in diesen Versuchen die völlige chemische Theorie der galvanischen Elemente finden, indem es ja heißen soll, die Stärke der Elektrizität ist direkt proportional der Menge der zersetzten Körper, ja wollte man noch weiter gehen, man könnte einen Vorläufer von dem Gesetz der Erhaltung der Kraft darin sehen. Auch die andere Wahrnehmung muß registriert werden, daß die Länge der Leitung einen Einfluß auf die Stärke der Schläge, welche die Säule liefern kann, ausübt, so zwar, daß die Erschütterung, welche ein die beiden Pole einer Säule Berührender empfindet, wesentlich geschwächt wird, wenn die Kette durch drei oder vier Personen geschlossen wird.

97. Die Franzosen, welche durch ihre Revolutionsschreckensjahre eine Zeitlang wissenschaftlich tot gewesen waren, hatten am Ende des vorigen Jahrhunderts durch die Wiederherstellung der Academie Royal in Gestalt des National-

1) Gilbert, Annalen, VIII. pag. 390.
2) Fischer, Geschichte, VIII. pag. 713.

instituts eine Art physikalischen Tribunals geschaffen. Zur Prüfung der Voltaschen Theorie war von diesem Institute eine Kommission ernannt, die Voltas Entdeckungen bestätigte. Als wesentlich Neues kam bei dieser Untersuchung eigentlich nur das erste Galvanometer durch Robertson heraus. Robertson[1]) wählt eine zwei Zoll lange, eine Linie weite Glasröhre voll Wasser, in welche er von der einen Seite einen Silberdraht, von der andern einen Zinkdraht führt und an letzterem eine Scala anbringt, um die Menge des zersetzten Gases messen zu können. Es bezieht sich diese natürlich nur auf den erhaltenen Wasserstoff, da der Sauerstoff mit dem Zink sich zu Zinkoxyd verbindet, und daher ist diese Messung auch ganz brauchbar. So sehen wir bereits im Jahre 1800 das erste Galvanometer ausgeführt, beruhend auf der chemischen Wirkung des Stromes.

98. Ehe ich fortfahre, möchte ich über einige der hier erwähnten Namen noch einiges Biographische hinzufügen. Gilbert, der berühmte Herausgeber der Annalen, die in ununterbrochener Folge noch heute erscheinen, war 1769 in Berlin geboren, wurde 1794 in Halle zum Dr. phil. promoviert, habilitierte sich im folgenden Jahre daselbst, wurde noch im selben Jahre außerordentlicher Professor und 1801 ordentlicher; im Jahre 1811 folgte er einem Rufe nach Leipzig, wo er 1824 als ordentlicher Professor starb. Von ihm sind für uns besonders wichtig eine große Zahl von Übersetzungen mit eigenen Anmerkungen in seinem Journale.

Robertson, welcher eigentlich Robert hieß, war ursprünglich Theologe, wurde dann aber Professor der Physik und endete schließlich als herumziehender Aeronaut, als welcher er eine Menge aerostatischer Beobachtungen anstellte, er starb 1837.

Der oben erwähnte Carl Wilhelm Boeckmann war der Sohn eines durch viele Aufsätze bekannten Physikers in Karlsruhe, geboren 1773, folgte er seinem Vater als Professor der Physik am Gymnasium seiner Vaterstadt und starb daselbst 1821.

Was endlich von Arnim betrifft, so war er mehr be-

---

1) Fischer, Geschichte, VIII. pag. 705.

kannt durch seine belletristischen und dichterischen Erzeugnisse, er war Gutsbesitzer und lebte den größten Teil des Jahres in Berlin, sonst auf Wiepersdorf, seiner Besitzung, wo er auch 1831 starb.

Zweites Kapitel.

Von 1801 bis 1819.

99. Während man sich aller Orten abmühte die Versuche Voltas, Ritters und Nicholsons zu wiederholen, und sich stritt, ob Voltas Erklärungsweise die richtige sei, ohne zu einem entscheidenden Versuche zu gelangen, hatte Volta selbst weitergearbeitet und es gelang ihm sein Werk zu krönen durch das 1801 erfundene Spannungsgesetz. Einer Einladung nach Paris folgend, nahm er seine fertigen Resultate mit. Noch vor seiner Abreise schrieb er am 29. August 1801 an Ambrosius Barth in Leipzig, daß er durch strenge Anwendung der Gesetze der Elektrometrie imstande sei alle Zweifler zu überzeugen, daß der Galvanismus nichts anderes sei als Elektrizität, und daß er experimentell nachweisen werde, daß seine Säule nichts anderes sei wie eine sehr große elektrische Batterie von unendlicher Kapazität, die sehr schwach geladen sei, und deren Ladung sich augenblicklich wieder herstelle. Er lade unter anderem eine gewöhnliche elektrische Batterie von 10, 15 oder 20 Quadratfuß Belegung durch seine Säule in einem Augenblicke durch Berührung ebenso stark wie durch 10, 15 oder 20 gute Funken vom Elektrophor, d. h. auf ein oder zwei Grad seines Strohhalmelektrometers, jenachdem er 80, 100 oder 150 Plattenpaare anwende.[1])

Am 1. Oktober traf Volta in Paris ein, und stellte sofort vor Gelehrten seine Versuche an, die allgemein den Eindruck machten, der sich in Pfaffs Brief aus Paris vom 8. Oktober ausspricht, daß dadurch das Siegel seiner Theorie aufgedrückt sei. Dieser Brief ist deswegen von hohem Interesse, weil hierin zum erstenmale von der Spannung an den Polen der Säule die Rede ist[2]),

1) Gilbert, Annalen IX, pag. 381.
2) Gilbert, Annalen IX, pag. 489 ff.

und weil klar darin ausgesprochen ist, daß die sogenannte galvanische Elektrizität sich von der gewöhnlichen nur durch eine „Modifikation der Bewegung“ unterscheide.

100. Am 7. November las Volta in der Sitzung des Nationalinstituts seine erste Abhandlung und zeigte durch Versuche die Richtigkeit seiner Ansicht, daß durch die Berührung Elektrizität erzeugt würde. Der Sitzung wohnte der erste Konsul Napoleon bei und ließ sich das ihm noch unverständliche durch la Place erklären, der Eindruck war ein so großer, daß Napoleon sofort beantragte, eine goldene Medaille zur Erinnerung daran anfertigen zu lassen und sie Volta in Anerkennung zu überreichen. Am 21. November las Volta die zweite Abhandlung und gleich ward eine Kommission des Instituts ernannt, die die Versuche wiederholen sollte. Derselben gehörten an la Place, Coulomb, Hallé, Monge, Fourcroy, Vauquelin, Pelletan, Charles, Brisson, Sabathier, Guyton und Biot. Letzterer stattete dem Institut im Namen der Kommission am 1. Dezember 1801 Bericht ab; da in diesem eine völlige Darstellung der Theorie Voltas enthalten ist, will ich denselben kurz rekapitulieren.[1])

Der Bericht beginnt mit einer sehr kurzen Erzählung der Entdeckung der galvanischen Versuche, referiert dann den Fundamentalversuch Voltas über die Erzeugung von Elektrizität durch bloße Berührung zweier Metalle, und den Übergang von diesem zur Voltaschen Säule. Die Theorie dieser Erscheinung ist nach Volta: Jedes Metall, wahrscheinlich alle Körper besitzen eine ihnen eigentümliche Elektrizität, welche auf die eines anderen eine Wirkung von dem Augenblick ihrer Berührung an ausübte. Hat man z. B. einen Streifen, dessen eine Hälfte Kupfer, dessen andere Zink ist, so geht von dem Kupfer ein Teil der Elektrizität zum Zink über, berührt man mit dem Zink den kupfernen Deckel eines Kondensators, so will von diesem gleichfalls Elektrizität zum Zink übergehen von gleicher Stärke, das Zinkende kann also dem Kondensator nichts mitteilen, und nach Aufhebung der Berührung ist derselbe wieder in seinem natürlichen Zustande; bringt man aber zwischen Zink

1) Gilbert, Annalen X, pag. 392 ff.

und Kondensatorplatte einen Wassertropfen, so dient dieser als feuchter Leiter und läßt die positive Elektrizität vom Zink auf die Platte übergehen, die nun nach Aufheben der Berührung + bleibt.

Auf diese Weise soll erklärt werden der Zustand einer Voltaschen Säule. Zunächst findet sich dabei eine Erklärung über Spannung; ich bemerke, daß Biot Anhänger der Franklinschen Hypothese ist, sonst möchten seine Worte ziemlich unverständlich sein. Die Menge von Elektrizität, die in einem Körper über seinen natürlichen Zustand hinaus angehäuft ist, steht bei sonst gleichen Umständen im direkten Verhältnis mit der Repulsivkraft, womit die Teile des elektrischen Fluidums sich von einander zu entfernen streben, oder womit sie ein neues Teilchen, das sich ihnen verbinden wollte, wegstoßen. Diese Repulsivkraft, welche bei freien Körpern in dem Widerstande der Luft eine Gegenkraft findet, verursacht das, was wir „Spannung des elekrischen Fluidums“ nennen. Nach dieser Abschweifung geht Biot zur Säule über.

Der Überschuß der Elektrizität zwischen einer Zinkplatte und Kupferplatte in direkter Berührung sei gleich 1, man kann dann den elektrischen Zustand der Kupferplatte mit $- {}^1/_2$, den der Zinkplatte mit $+ {}^1/_2$ bezeichnen. Würden wir nun eine zweite Kupferplatte auf die Zinkplatte legen, so würde hier der Unterschied, in entgegengesetzter Richtung stattfinden und es entstände keine Wirkung. Um diese zu erhalten, muß man eine feuchte Pappscheibe dazwischen legen; da die eigene Wirkung des Wassers sehr gering ist, können wir diese nur als Leiter betrachten, und die obere Kupferplatte erhält dieselbe Elektrizität wie die Zinkplatte, aber die untere Kupferplatte muß beiden abgeben, ihr Zustand ist also $- {}^2/_3$, der der Zinkplatte $= + {}^1/_3$, ebenso der der oberen Kupferplatte $+ {}^1/_3$. Legt man nun noch eine Zinkplatte auf, so ist jetzt der Unterschied zwischen den beiden oberen Platten $= 1$, das kann nur auf Kosten der unteren Kupferplatte erhalten werden, also muß die Elektrizität der unteren Kupferplatte $= - 1$ sein, die der zwischenliegenden Platten also $= 0$. Setzt man dies so fort, so kommt man schließlich zu dem Resultat, daß in jeder Säule mit grader Anzahl Plattenpaare in der Mitte eine Kombination Zink,

Wasser, Kupfer ist, welche die Elektrizität 0 hat, wenn man die Säule für sich, d. h. isoliert betrachtet.

Wird jetzt ein Pol, z. B. die untere Kupferplatte, zur Erde abgeleitet, so wird diese ihre Abgabe an Elektrizität aus der Erde zu decken suchen, also in ihren natürlichen Zustand, mit 0 bezeichnet, zurückkehren, dann aber ist das berührende Zink um 1 reicher an Elektrizität, also sein Zustand + 1, folglich die zweite Kupferplatte, die mit ihm in leitender Verbindung ist, ebenfalls mit + 1 versehen, die zweite Zinkplatte also mit + 2, da sie ihre Kupferplatte ja wieder um 1 überragt, so wächst die Elektrizität der verschiedenen Platten mit der Anzahl der Plattenpaare in arithmetischer Reihe. Dann wird gezeigt, daß dies wirklich statthabe an Versuchen mit einer Leydener Flasche. Berührt man die innere Belegung derselben mit einem Pole der Säule, welche isoliert ist, so entsteht fast nichts; leitet man aber den andern Pol ab zur Erde, so ladet sich die Flasche sofort mit derselben Spannung, welche der berührenden Platte zukommt.

101. Diese letzte Thatsache wurde vor allem von v. Marum und Pfaff geprüft mit 25 der großen Flaschen, welche zu der berühmten Batterie des Teylerschen Museums gehörten.[1] Die Versuche v. Marums waren auf Voltas Veranlassung angestellt mit dem von Paris zurückkehrenden Pfaff in Harlem. Christian Heinrich Pfaff ist wohl einer der fruchtbarsten Forscher seiner Zeit gewesen, das Verzeichnis seiner Arbeiten füllt vier Spalten bei Poggendorff; geboren 1773 zu Stuttgart, wurde er schon 1797 Professor der Medizin, Physik und Chemie in Kiel, wo er 1852 starb. Dieser Pfaff, der schon eine Reihe eigener Untersuchungen über die Voltasche Säule veröffentlicht hatte, untersuchte mit v. Marum besonders den letzten Satz Voltas, indem sie an einer Säule von 200 Plattenpaaren eine Vorrichtung trafen, nur die ersten 40 oder 60, 80 etc. bis 100 und endlich die ganze Säule als Elektrizitätserzeuger zu benutzen. Beide Teile der letzten Voltaschen Schlußfolgerung, sowohl in Bezug auf die vorhandene Spannung,

---

1) Gilbert, Annalen X, pag. 121 in einem Briefe v. Marums an Volta publiziert.

wie auch auf die Ladung der Batterie bestätigten sich dabei vollständig.

Interessant sind diese Versuche auch noch wegen der Experimente mit Schmelzen von Drähten, was mit dieser Säule bei einem acht Zoll langen $^1/_{240}$ Zoll dicken Eisendrahte vollständig gelang. Noch stärker war diese Wirkung bei einer Säule mit sehr großen Platten von fünf Zoll Länge und Breite, welche einen Draht von 32 Zoll Länge zum Rotglühen brachte. Auch beantworteten sie die Frage, wie es komme, daß eine nicht geschlossene isolierte Säule so wenig Spannung zeige, eine an einem Ende abgeleitete so viel; bei ersterer ist eben nur der für die Metalle gültige Überschuß der Elektrizität wirkend, während in der abgeleiteten aus der Erde fortwährend Elektrizität aufgenommen wird und ein Strömen von einem Ende zum andern stattfindet. Natürlich ist für diese ganze Ausdrucksweise die Franklinsche Theorie die maßgebende.

102. Das Wichtigste aber in der Voltaschen Arbeit ist das Spannungsgesetz.[1]) Legt man Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink aufeinander, so wird jedes derselben durch Berührung mit dem vorangehenden positiv, mit dem folgenden negativ elektrisch, die Elektrizität geht daher von Silber zum Kupfer, vom Kupfer zum Eisen etc. Dabei zeigt sich, daß die erregende Kraft des Silbers gegen das Zink der Summe der erregenden Kräfte der Metalle, welche in der ganzen Reihe zwischen beiden liegen, völlig gleich ist. Daraus folgt erstens, daß zwei Metalle, zwischen welchen eine ganze Reihe anderer in beliebiger Ordnung liegt, sich stets so verhalten, als ob sie sich direkt berührten, und zweitens, daß ein Kreis nur aus Metallen bestehend keine elektrische Strömung zu Wege bringen kann. Dieses Gesetz, das Spannungsgesetz, gilt nicht für Flüssigkeiten in Berührung mit Metallen, daher entsteht hier eine Strömung der Elektrizität, wenn zwei sich berührende Metalle durch eine Flüssigkeit verbunden werden, daher unterscheidet Volta zwei Klassen von Leitern, die festen und flüssigen. Daß übrigens bei Berührung von Metallen und Flüssigkeiten auch Spannungs-

---

1) Gilbert, Annalen X. pag. 403.

differenzen auftreten, hatte Pfaff bereits nachgewiesen[1]), nur sind sie geringer und nicht dem Spannungsgesetz unterworfen. Ob die Flüssigkeiten unter sich ein Spannungsgesetz befolgen, wagt Volta noch nicht zu entscheiden, nur glaubt er die Existenz einer spezifisch tierischen Elektrizität damit vollständig widerlegt zu haben und die Kommission schließt sich ihm an.

Am 1. Dezember 1801 las Biot den Bericht in der Sitzung des Instituts und stellte im Namen der Kommission den Antrag, dem Wunsche Napoleons statt zu geben, Volta eine goldene Medaille zu überreichen aus Anerkennung seiner Verdienste und mit Dank für seine bereitwillige Demonstration. Angeschlossen an den Bericht gab Biot eine ausführliche Berechnung der Voltaschen Säule und da die Resultate der Rechnung mit der Beobachtung stimmen, ist die Wahrscheinlichkeit der Voltaschen Hypothese dargethan.

103. In der zweiten Vorlesung am 21. Nov. desselben Jahres im Nationalinstitut, hatte Volta sodann seine Spannungsreihe noch erweitert, indem er die oben angegebene Reihe über Silber hinaus fortsetzt und demnach die Reihe folgende Gestalt gewinnen läßt: „Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Reißblei = Graphit, mehrere Arten Kohle, schwarzer krystallisierter Braunstein."[2]) In derselben Sitzung giebt Volta auch die Resultate der Messungen. Als Einheit wählt er die Spannungsdifferenz zwischen Kupfer und Silber. Wenn ich hier Spannungsdifferenz sage, so ist das eigentlich nicht im Sinne Voltas, welcher glaubte, daß eine Scheidungskraft bestehe, welche die Elektrizität von der Berührungsstelle forttreibe und sie am andern Ende bände. Diese Ansicht ist später 1829 als eine irrige von Fechner[3]) nachgewiesen, wir werden uns mit Fechners Untersuchungen an dem richtigen Zeitpunkt beschäftigen, für jetzt wollen wir nur diese Bezeichnung Spannungsdifferenz wählen, und verstehen darunter die elektromotorische Erregung zwischen zwei sich berührenden Metallen. Diese Spannungsdifferenzen sind nun nach Volta:

---

1) Gilbert, Annalen X. pag. 223.
2) Gilbert, Annal. X. pag. 436.
3) Fechner, Lehrbuch des Galvanismus 1829. pag. 200.

Zink	—	Blei	=	5
Blei	—	Zinn	=	1
Zinn	—	Eisen	=	3
Eisen	—	Kupfer	=	2
Kupfer	—	Silber	=	1.

Und in Übereinstimmung mit seinem Spannungsgesetz fand er:

Zink	—	Silber	=	12
Zinn	—	Kupfer	=	5
Zink	—	Eisen	=	9.

Darauf untersucht Volta die Spannungsdifferenz zwischen Wasser und Zink und findet sie = 1, und die Spannungsdifferenz zwischen Wasser und Silber auch etwa = 1, während wenn das Wasser mit in die Spannungsreihe gehörte wir die Differenz 13 erwarteten. Aus diesem Grunde ist die Einteilung der Leiter in zwei Klassen richtig, und darauf beruht die Wirkung seiner Säule und der Elemente.

Allein Volta glaubt, daß zwischen den Flüssigkeiten auch ein Spannungsgesetz bestehe, und wenn es ihm gleich nicht gelungen sei ein solches nachzuweisen, so glaubt er ein Beispiel davon in dem elektrischen Apparat der elektrischen Fische gefunden zu haben, zu deren Erklärung vielleicht nötig sei auch Leiter dritter Klasse anzunehmen, welche bestehen aus Körpern, die mit Flüssigkeiten getränkt sind, „welche sich in einem unsern Sinnen nicht wahrnehmbaren Grade koagulieren und fixieren", sodaß es nur im uneigentlichen Sinne feuchte Leiter sind, dahin rechnet er die Muskeln, Sehnen, Membranen, Nerven etc. des tierischen Organismus. Mit Hilfe dieser Annahme würde in der That das Organ des Zitterrochens und der übrigen Repräsentanten dieser Fische sich als eine gewöhnliche Voltasche Säule repräsentieren, denn diese Organe bestehen, wie schon bemerkt, aus säulenförmigen Zellen, die, von einander durch Membranen getrennt, selbst durch mehrere durchgehende Häute in einzelne Schichten zerlegt sind, diese so entstehenden kleinen Kapseln aus Häuten sind dann mit einer charakteristischen Flüssigkeit gefüllt. Daß wir es bei diesen Organen freilich mit einer Art Kontaktelektrizität zu thun haben, ist wohl zweifellos, allein es ist die Elektrizitätserregung zu eng mit dem Leben des Tieres verbunden, als daß man annehmen könnte, daß der

tierische Organismus gar nichts weiter dabei zu thun habe. Ein toter Fisch zeigt nicht mehr die Fähigkeit, elektrische Schläge zu erteilen, ein abgestorbener Nerv läßt sich nicht mehr in Zuckungen versetzen, allein der etwa hierin gefundene Beweis für eine rein tierische Elektrizität, welche durch das Leben des Tieres, durch seinen Willen oder durch die Thätigkeit seiner Organe hervorgerufen wurde, ist doch hinfällig, sobald man bedenkt, daß mit dem Aufhören des Lebens eben eine chemische Veränderung der den Organismus füllenden Flüssigkeiten eintritt.

Volta hat übrigens die Theorie der dritten Klasse wieder fallen lassen, wenigstens schließt man das allgemein aus dem 1814 unter seinen Auspizien herausgegebenen Werke seines Schülers Configliachi, in welchem davon nichts mehr enthalten ist[1]).

104. Der Effekt der Voltaschen Untersuchung war jedenfalls der, daß man die galvanische Theorie von der tierischen Elektrizität, welche 1794 einmal Siegerin über Voltas Anschauung geworden zu sein schien, als Galvani in einem Froschschenkel ohne Anwendung irgend eines Metalles, nur durch Berührung von Nerven mit Muskeln, Zuckungen hervorgebracht hatte, völlig aufgab und der Kontakttheorie zufiel. Der Triumph Voltas war ein allgemeiner, und er hat keinen, der ihm die Krone da streitig machen könnte, er allein, ohne jedes zufällige Glücksspiel, hatte in planmäßigem, zielbewußten Experimentieren und Denken seine Theorie gefunden und bewiesen. Wir stimmen du Bois-Reymond zu, wenn er sagt[2]): „Voltas Abhandlungen, in ihrer natürlichen Reihenfolge, als einfache Erzählung seiner Versuche, würden die beste Darstellung der Lehre vom Galvanismus bis zu seiner Zeit in genetischer Form abgeben, die man sich geschrieben denken könnte". Ich habe deswegen auch möglichst eng, soweit es der Raum gestattete, mich an Voltas Abhandlungen angeschlossen und teilweise nur dieselben übersetzt. Ein anderes Urteil aber.

1) L'identità del fluido electrico col cosi detto fluido galvanico etc. von Configliachi 1814.

2) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektrizität. I. pag. 92.

welches du Bois-Reymond seinem Leser zwischen den Zeilen giebt, als ob nämlich Volta den Kampf gegen die tierische Elektrizität Galvanis mit persönlicher Erbitterung und nicht ganz lauteren Mitteln geführt hätte (so redet der Verfasser der Untersuchungen über tierische Elektrizität, von Verdächtigungen Voltas gegen Galvani, von geschickten Schachzügen, von Spott und Verachtung des Professors in Pavia gegen den zu Bologna), können wir durchaus nicht gerechtfertigt finden. Volta erkennt häufig die großen Verdienste Galvanis an und ebenso spricht der Arzt Galvani mit viel Ehrerbietung von dem Physiker Volta. Wenn letzterer aber etwas schneidig in seiner Ausdrucksweise wird, so richtet sich die Spitze stets gegen Schüler oder Freunde Galvanis, die weder diesen noch Volta verstanden hatten, noch auch, wie z. B. Aldini, verstehen wollten. Im ganzen wird aber jeder Leser zugeben, daß der Kampf von den beiden Italienern mit sehr viel mehr Anstand geführt ist, wie wir es leider heutzutage so oft bei wissenschaftlichen Streitigkeiten finden. Und es ist auch in der That das Verdienst beider Männer groß, wenn wir auch Volta den größeren Ruhm zusprechen müssen. Ohne Galvanis Entdeckung und eifriges Studium war Voltas Arbeit nicht möglich, und ohne Voltas Genie wären wir wahrscheinlich sehr lange Zeit noch in den Irrsalen einer besonderen galvanischen Flüssigkeit, verschieden von der Elektrizität, geblieben und hätten erst später die Fortschritte gemacht, die, durch die Voltasche Säule und seine Spannungsreihe am Anfang dieses Jahrhunderts, gleichsam vorbedeutend für unser Säkulum, bedingt, die Elektrizität zur Herrscherin in Wissenschaft und Technik machten.

Die ganze folgende Periode der elektrischen Forschung steht im Dienste des Voltaschen Genius, während Galvanis tierische Elektrizität fast vergessen wurde, bis Pfaff und später Matteucci und vor allem du Bois-Reymond sie wieder belebten; mit ihr werden wir uns später wieder zu beschäftigen haben.

105. Zunächst wollen wir des großen Franzosen gedenken, der Voltas Entdeckung dem Institut zu Paris vorführte, des schon vielerwähnten Biot. Jean Baptiste Biot war 1774 zu

Paris geboren und früh entwickelt, schon 1800 treffen wir ihn als Professor der Physik am Collège de France, 1803 wurde er Mitglied des Instituts, 1806 wurde er zum Mitglied des Längenbureaus ernannt und 1809 wurde er Professor der Astronomie an der Fakultät der Wissenschaften zu Paris, was er bis zu seinem 1862 erfolgten Tode blieb. Noch sechs Jahre vor seinem Ende war er wissenschaftlich thätig, und besonders als Mathematiker und Optiker wird sein Ruhm ewig dauern. Schon ehe er seine so segensreiche Wirksamkeit in Paris eröffnete, war er als Professor der Physik in Beauvais thätig, nachdem er dem Artilleriedienst Valet gesagt hatte.

106. In Deutschland war es besonders Ritter, welcher die Untersuchungen über Berührungselektrizität fortsetzte. Ich habe schon erwähnt, wie er in dem Streit über die Pole der Säule den Nachweis lieferte, daß die Enden der Säule nur aus je einer Platte bestehen sollten und das Hinzufügen einer zweiten Platte ganz überflüssig sei, da diese nur als Leiter der Elektrizität wirke, nicht aber als Erreger. Ritter wandte sich auch der Spannungsreihe zu und gab 1804 eine Reihe[1]), welche außer den Voltaschen Metallen noch eine ganze Reihe anderer enthält, sie lautet:

Zink	Kupfer	Bleiglanz
Blei	Antimon	Kupfernickel
Zinn	Platin	Schwefelkies
Eisen	Gold	Arsenkies
Wismut	Quecksilber	Palladium
Kobald	Silber	Graphit
Arsenik	Kohle	Braunstein.

Er fand auch, daß die Metalllegierungen nicht zwischen den Metallen stehen, aus denen sie gebildet sind, sondern an irgend einer anderen Stelle, so sollte man Messing zwischen Zink und Kupfer vermuten, es steht aber zwischen Kupfer und Platin, die Zinkamalgame stehen größtenteils oberhalb des Zinks, teils unterhalb. Allgemein angenommen ist schließlich Ritters Bezeichnung der Pole. Besonders v. Arnim hatte Untersuchungen veröffentlicht über die eigent-

1) Gilberts Annal. XVI. pag. 293.

liche Polarität; er ging von einer gewöhnlichen Voltaschen Säule aus mit je zwei Platten am Ende, und fand demgemäß, die Zinkplatte sei eigentlich der Silberpol und die obere Silberplatte der Zinkpol. Seit Ritter und Gilbert nun nur eine Platte anwandten, war die Sache klargestellt. Man bezeichnet in den Spannungsreihen den Körper als + elektrisch, welcher mit einem anderen in eine Flüssigkeit getaucht am Elektroskop — Elektrizität zeigt, den anderen — elektrisch, wenn er am Elektroskop + Elektrizität zeigt. Stellte man z. B. Zink und Kupfer in Wasser, so ist Zink + und Kupfer — elektrisch. Untersucht man das herausragende Zinkende mit dem Elektroskop, so findet man daran — Elektrizität, am Kupferende +, in dem Wasser also geht + Elektrizität vom Zink zum Kupfer, verbindet man aber das herausragende Ende des Kupfers mit dem des Zink durch einen Draht, so geht in demselben die + Elektrizität vom Kupfer zum Zink. Besonders wichtig wurde diese Untersuchung bei Konstruktion der galvanischen Elemente mit zwei Flüssigkeiten und zwei Metallen.

107. Es ist natürlich, daß mit der Voltaschen Säule auch viele Entdeckungen gemacht wurden, die sich später als irrig erwiesen; seinen Grund hat das vor allem in dem geringen Grade der an einer Säule gewöhnlich zu erweckenden Elektrizität und der unvollkommenen Meßapparate. Dahin gehört z. B. die Beobachtung Ermans[1]) in Berlin und Basses[2]) auf der Weser, daß die Zersetzung des Wassers unabhängig von der Länge der eingeschalteten Flüssigkeitssäule sei; Basse nahm z. B. Distanzverschiedenheiten von 100 bis 4000 Fuß, während schon Nicholson richtig beobachtet hatte, daß die Menge des zersetzten Wassers umgekehrt proportional sei der Länge der Flüssigkeitssäule, nachdem schon Robertson nach der Menge des zersetzten Wassers die Stärke des Stromes bestimmt hatte.

Diese Wasserzersetzung bewog auch den durch die Herausgabe der Zeitschrift für Naturforscher bekannten Prediger der französisch-wallonischen Gemeinde in Wesel, Herrn Maréchaux[3]), zur Konstruktion eines Galvanometers nach Art des

1) Gilberts Annal. XIV. 1803.
2) Fischer, Geschichte der Physik, VIII, pag. 830.
3) Gilberts Annal. XI. 1802. pag. 123.

Robertsonschen, doch ist Maréchaux planmäßiger und zielbewußter dabei verfahren. Er spricht die einem solchen Galvanometer zu Grunde liegende Hypothese richtig aus, daß die wasserzersetzende Kraft der Säule proportional sein müsse mit der absoluten elektrischen Kraft der Säule. Und meint er, wenn man das nicht zugestehen wolle, so sei doch wenigstens die chemische Kraft der Säule auf diese Weise zu messen. Er konstatiert auch die Abhängigkeit der zersetzten Wassermenge von der Distanz der hineinragenden Drähte durch Versuche, und wählt dann als die für seine Zwecke am passendsten erscheinende Distanz die von drei Linien. Auch ihm läuft noch ein Fehler unter, er findet für die Distanz 3‴ und 1‴ die gleiche Wasserzersetzung, hält dies Resultat aber selbst für falsch. Nach ihm ist die wirksamste Metallzusammenstellung Zink-Molybdän, dem am nächsten liegt Zink-Silber, dann Zink-Kupfer etc. Doch so wenig Anerkennung fand er damit, daß Gilbert dem Aufsatze eine Aufforderung anschließt, die Physiker möchten diese „allen bisherigen Vorstellungen so ganz und gar widersprechenden Resultate“ durch häufige Wiederholung der Versuche prüfen und auf sorgfältige Sicherung vor Täuschung Bedacht nehmen. Und doch hatte jener Prediger Recht, wenigstens bei weitem mehr wie die Physiker mit ihren Vorstellungen.

108. Maréchaux erfand auch ein sogenanntes Mikro-Elektrometer[1]), welches dazu dienen sollte, die Anziehung und Abstoßung an der Säule zu messen; der Apparat bestand aus einer Glasglocke, in welche ein Stift von oben führte, der an seinem unteren Ende ein dünnes Silberplättchen hielt, dem konnte seitwärts eine Messingkugel durch eine Mikrometerschraube mit genauer Ablesungsvorrichtung genähert werden auf beliebige Distanz; wurde nun die Messingkugel mit einem Pol der Säule verbunden, während der andere Pol mit dem Silberplättchen in leitender Verbindung stand, so zeigte sich bei gehöriger Annäherung der Kugel an die Platte eine unzweideutige Anziehung, die genau zu erkennen war, da Maréchaux hinter dem Silberplättchen in der Ebene desselben einen vertikalen Seidenfaden aufgespannt hatte. Eine Gradeinteilung er-

1) Gilberts Annal. XVI. 1804. pag. 115.

möglichte die genaue Ablesung des Winkels, um welchen das Plättchen abgelenkt wurde aus der Vertikalebene. Mit diesem Elektrometer konstatierte er nun, daß Voltas Behauptung, zwei Plattenpaare der Säule geben die doppelte Menge Elektrizität wie ein Paar, drei die dreifache etc., nicht richtig sei, sondern, daß bei Hinzufügung mehrerer Platten ein Elektrizitätsverlust entstehe, also nicht das doppelte, dreifache etc. erhalten werde, sondern nur mehr. Ferner wieß er damit nach, daß auch für die Säule das Coulombsche Gesetz gelte, indem er die Elektrizität für eine Säule von 30 Plattenpaaren berechnete und durch die Beobachtung eine Bestätigung seiner Rechenresultate fand. Auch beobachtete er die in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zuerst von Saussure konstatierte tägliche Periode der Luftelektrizität.

109. Daß die Luft stets elektrisch sei, habe ich seinerzeit berichtet. Bei Gelegenheit der Reisen in den Alpen stellte Saussure an seinem Luftelektrometer zahlreiche Beobachtungen an und fand bei heiterem Himmel eine ziemlich regelmäßige Periode der Stärke der Luftelektrizität, sodaß innerhalb 24 Stunden zwei Maxima und zwei Minima vorkommen. Der erste, welcher diese Beobachtungen bestätigte und die richtigen Zeiten der Periode angab, war Maréchaux[1]). Er fand im September das erste Minimum um 6 Uhr früh, das erste Maximum um 9 Uhr, dann um Mittag wieder ein Minimum und darauf wieder steigende Werte bis zum zweiten Maximum bald nach Sonnenuntergang, um endlich wieder langsames Heruntersinken zu beobachten. Erst später (1811) wurden die Untersuchungen von dem als Meteorologen bekannten Schübler systematisch durchgeführt[2]). In ausführlichen Tabellen giebt Schübler gleichzeitig mit den Graden an seinem Voltaschen Strohhalmelektrometer die Luftfeuchtigkeit und Temperatur sowie den Wettercharakter an. Er fand nun, daß eine Periodizität der Luftelektrizität nur an heiteren Tagen zu konstatieren ist, da bei Eintritt von Nebel, Regen, Sturm und Gewittern die

1) Gilberts Annal. XVI. pag. 125.

2) Schweigger, Journal. III. 1811. pag. 123; Beilage hinter pag. 268, u. VIII. pag. 22.

Elektrizität am Apparat sich fortwährend, schnell und sehr beträchtlich ändert, während bei heiterem Himmel die Luftelektrizität gewöhnlich positiv war, kam bei Regen sehr oft negative Elektrizität vor, ebenso bei Gewittern. Die tägliche Periode ist danach folgende:

	Juni, Juli, Aug.	Sept., Octob., Nov.
Minimum	4—5^h früh.	7^h früh.
Maximum	6—7$^1/_2$^{h} „	8—9^h „
Minimum	2—5^h Mittag.	2—4^h Mittag.
Maximum	8$^1/_2$—10^h Abend.	7—8^h Abend.
	Dec., Jan., Febr.	März, April, Mai.
Minimum	7—8^h früh.	5—6$^1/_2$^{h} früh.
Maximum	9—10^h „	7—8$^1/_2$^{h} „
Minimum	2—4^h Mittag.	2—5^h Mittag.
Maximum	6—7^h Abend.	7$^1/_2$—9^h Abend.

Wir sehen die Beobachtung im September stimmt gut mit der Maréchaux', dessen Beobachtung ich in keinem Buche erwähnt finde! Auch die andere Beobachtung Maréchaux' bestätigt sich, daß die Stärke der Elektrizität nicht abhängt von der Wärme, dagegen in einem gewissen Verhältnis steht zu der Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes. Schübler findet dem entsprechend die Bildung schwacher Nebel als ein gutes Mittel, die Elektrizität zu befördern, und setzt deshalb die Periode der Elektrizität mit der des Barometers, von v. Humboldt zuerst in Amerika genau nachgewiesen, in Konnex, während die tägliche Periode der Deklination der Magnetnadel in keinem nachweisbaren Zusammenhange damit zu stehen scheint.

Der Prediger Maréchaux sollte übrigens die Früchte seines Fleißes bald ernten; er war 1764 zu Prenzlau geboren, dann als Prediger in Straßburg, Berlin und Wesel bis 1806 thätig. Darauf erhielt er einen Ruf als Professor der Physik nach München, wo er von 1807 an bis zu seinem Tode lebte.

Um gleich die Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität, welche in diesen Zeitabschnitt fallen, zu Ende zu bringen, will ich Schüblers weitere Beobachtungen referieren,

welche sich finden in einer ganzen Reihe von Bänden des Schweiggerschen Journals, und schließlich in seinen „Grundsätzen der Meteorologie“ eine übersichtliche Zusammenstellung erfahren. Danach fand er die vereinzelten Beobachtungen Saussures und Voltas bestätigt, daß nämlich im Winter die Luftelektrizität wesentlich stärker ist, als im Sommer. In Graden seines Elektroskopes, welches mit einer Flamme armiert war, (wie ich seiner Zeit beschrieben habe) ausgedrückt hat man folgende Tabelle:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August
24,4	18,5	9,7	7,8	7,9	8,3	9,5	10,8

September	Oktober	November	Dezember
10,4	12,3	11,8	16,3

als Monatsmittel aus zweijährigen Beobachtungen, täglich viermal an heiteren Tagen[1]). Übrigens weichen die mittleren Werte von Beobachtungen, welche ohne Rücksicht auf Wetter alle zwei Stunden angestellt sind, wenig von diesen Resultaten ab, ebenso kann man die Perioden, sowohl die tägliche, wie die jährliche, sehr wohl auch bei gleichmäßig bedecktem Himmel konstatieren. Auffallend ist die weitere Thatsache, daß beim Nebel in der Regel starke + Elektrizitätsentwickelung stattfindet, während bei Regen gewöhnlich das Elektroskop — Elektrizität anzeigt, oft auch in ganz kurzer Zeit von einem hohen positiven Wert zu einem nahezu gleich hohen negativen umschlägt. Um so auffallender ist dies, als bei künstlichem Regen ohne Ausnahme negative Elektrizität von Schübler beobachtet wurde. Schon Tralles hatte in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts beobachtet, daß ein feiner Wasserstaub, auf ein Elektroskop geträufelt, hier Anzeichen negativer Elektrizitätsladung hervorruft, bestätigt wurde diese Beobachtung bei verschiedenen Wasserfällen, so besonders von Schübler beim Falle des Reichenbachs, wo er je nach der Stärke und Richtung des Windes in einer Entfernung von 300 Fuß eine Flasche in wenigen Minuten so stark laden konnte, daß er Funken daraus erhielt. Zur Klarstellung der Ursachen ist sehr wichtig ein

1) Rieß, Reibungselektrizität. II. pag. 522.

späterer Versuch[1]) Bellis in Genf, daß nämlich das aus einer Röhre tropfenweise herunterfallende Wasser + elektrisch ist, während das zurückfallende Wasser einer Fontaine negativ elektrisch gefunden wurde, das Ausflußrohr der Fontaine aber war + elektrisch. Der Versuch gelingt nur auf freiem Felde, und erklärt sich durch Influenz der positiven Luftelektrizität, welche den aufsteigenden Wasserstrahl so beeinflußt, daß das zugewandte obere Ende die entgegengesetzte, also — Elektrizität, das abgewandte untere + Elektrizität erhält, die herunterfallenden Wassermassen führen dann die negative Elektrizität der oberen Wassersäule mit sich herunter.

Die Influenzelektrizität allein reicht nun nicht aus zur Erklärung der verschiedenen Elektrizität des natürlichen Regens, da bei dem durchweg positiven Charakter der Luftelektrizität dieser stets negativ und verhältnismäßig schwach elektrisch sein müßte; wir müssen vielmehr auch die Reibung der fallenden Tropfen mit berücksichtigen und auf die andere von Schübler beobachtete, später von Dellmann, dessen Untersuchung im nächsten Zeitabschnitt besprochen werden wird, bestätigte Thatsache achtgeben, daß die Wolken selbst oft verschieden elektrisch sind, am Rande negativ und im Centrum positiv, auch in unseren Tagen ist dies durch die Beobachtungen des Professor Palmieri auf dem Vesuv bestätigt, es gilt aber durchaus nicht allgemein. So kann denn sehr wohl ein herabfallender Regentropfen aus der Wolke + oder — Elektrizität mitbringen und auch durch Influenz von Seiten der Luftelektrizität mit negativer Ladung versehen werden.

Der einzige Niederschlag, welcher ohne Ausnahme negativ elektrisch ist, ist Hagel, wie Schübler beobachtete. Es hat das zu einer besondern Theorie der Entstehung von Hagel geführt, doch ist darin noch nicht das letzte Wort gesprochen, daher übergehe ich diese.

110. Wenn nun schon die Niederschläge große Veränderungen in dem elektrischen Charakter der Luft hervorrufen, wie vielmehr ein Gewitter. Volta sah vierzehnmal in einer Minute die Elektrizität an seinem Elektroskope während eines Gewitters

---

1) Rieß, Reibungselektrizität. II. pag. 526.

die Zeichen wechseln. Schübler beobachtete bei einem aufziehenden Gewitter von Blitz zu Blitz stärkere positive Ladung; als das Gewitter dicht über dem Apparate war, ging die Elektrizität in negative über und wurde beim Abziehen des Wetters immer stärker negativ, um schließlich beim Aufhören der Blitze wieder positiv zu sein; die ganze Erscheinung dauerte nur 38 Minuten.[1])

Auch die Beobachtungen über das in seiner Erscheinung schon den Alten bekannte St. Elmsfeuer, welches sich als Büschellicht an metallischen oder sonst leitenden scharfen Spitzen, wie feuchten Haaren, Grasspitzen etc. zeigt, wurden in diesem Zeitabschnitte vielfach gemacht. Es ist dasselbe nichts anders als das an Spitzen schon seit Gordon beobachtete Büschellicht, welches auch durch die atmosphärische Elektrizität hervorgerufen werden kann, indem die Influenzelektrizität aus den Spitzen ausströmt, wie ich das bei Gelegenheit der Blitzableiter auseinander gesetzt habe. Besonders hervorzuheben ist in dieser Beziehung die intensive Erscheinung des St. Elmsfeuers im Januar 1817 in Nordamerika.[2]) Die Erscheinung ist am häufigsten im Winter, da ja nach Schübler dann die atmosphärische Elektrizität am stärksten ist.

111. Hierher gehören ebenfalls die zahlreichen Nachforschungen nach Blitzröhren, die entstehen, wenn der Blitz in die Erde, besonders in eisenhaltigen Sand fährt, und sich dadurch charakterisieren, daß das getroffene Erdreich verglast ist, oft in beträchtlicher Dicke, oft nur in dünnen Schichten. Saussure fand an einem vom Blitze getroffenen Mauersteine einen solchen glasigen Überzug und schrieb denselben dem Schmelzen durch den Blitz zu. A. v. Humboldt[3]) fand an einem Trachytfelsen in Mexiko eine Fläche von zwei Quadratfuß mit solchem $^1/_{10}$ Zoll dicken glasigen Überzuge, an welchem Gilbert auch eine sechs Linien lange Blitzröhre entdeckte, und Fiedler[4]) suchte eine ganze Kollektion von Blitzröhren in Europa nach, die die verschiedensten Strukturen

1) Schweigger, Journal XI, pag. 378.
2) Gilbert, Annal. LXX. pag. 120.
3) Gilbert, Annal. LXXIV. pag. 326.
4) Gilbert, Annal. LV und eine Reihe späterer Bände.

zeigten. Wenn übrigens Poggendorff die Entdeckung der Blitzröhren einem Oekonom Hentzen bei Paderborn zuschreibt und in das Jahr 1805 verlegt, so ist das nicht richtig, die erste Blitzröhre ist meines Wissens unter den Füßen eines vom Blitz erschlagenen Schäfers am 3. Juli 1725 aufgefunden.[1])

112. Es erübrigt über die in diesem Zusammenhange genannten Forscher einige biographische Notizen anzufügen. Gustav Schübler war 1787 in Heilbronn geboren und widmete sich der Medizin, wurde praktischer Arzt in Stuttgart, dann Lehrer der Physik und Naturgeschichte am Fellenbergschen landwirtschaftlichen Institute zu Hofwyl, und endlich 1817 Professor der Naturgeschichte in Tübingen, wo er bereits 1834 starb; besonders bekannt wurde er durch seine meteorologischen Untersuchungen, wobei er sich vergeblich abmühte, den Nachweis der Einwirkung des Mondes auf das Wetter darzuthun. Während nun jene Versuche scheiterten, sind seine elektrischen Beobachtungen noch heute von großem Werte.

Der mehrfach erwähnte Saussure war in der Nähe Genfs 1740 geboren und wurde bereits in dem jugendlichen Alter von 22 Jahren Professor der Philosophie an der Akademie seiner Vaterstadt. Während der Zeit und schon vier Jahre früher machte Saussure viele geologische Reisen durch die Alpen, Frankreich, Italien, Deutschland und England, stets auch physikalische Beobachtungen am Barometer, Thermometer, Elektroskop etc. anstellend. Am bekanntesten möchte von ihm das 1783 erfundene Haarhygrometer sein, welches noch heute viel gebraucht wird. Seine Professur legte er 1786 nieder und nahm an der Regierung seiner Vaterstadt teil bis zur Annexion durch Frankreich; 1798 wurde er Mitglied der Assemblée national, starb aber schon 1799 im Winter.

Der um die Blitzröhren so verdiente Karl Gustav Fiedler führte nach Vollendung seiner Studien ein sehr wechselvolles Reiseleben im Dienste von Privatpersonen und Regierungen durch ganz Europa bis nach Sibirien hinein, von 1822 bis 1853, in welchem Jahre er in Dresden starb, geboren war er 1791 in Bautzen.

---

1) Philos. Transact. 1725. pag. 366.

113. Doch zurück zur Voltaschen Säule. Wir haben sowohl praktisch wie theoretisch neue Untersuchungen über sie zu verzeichnen. Zunächst handelt es sich um die chemischen Wirkungen der Berührungselektrizität. Die Wasserzersetzung war wohl nachgewiesen, allein es war doch sehr zweifelhaft, ob wirklich das Wasser vollständig zersetzt werde und ob nicht neue Verbindungen bei der Zersetzung nachgewiesen werden könnten. Der deutsche Professor Simon, 1767 in Berlin geboren, seit 1798 Professor an der Bauakademie in Berlin, als welcher er 1815 daselbst starb, hat 1802 diese Untersuchungen angestellt[1]). Er ließ in einem besondern Apparat über zwei Stunden lang Wasser zersetzen, bestimmte dann den Gewichtsverlust des vorhandenen Wassers und fand nun zunächst, daß die erhaltene Gasmenge nicht so viel wog wie das zersetzte Wasser, er schrieb diesen Unterschied der Verdunstung des Wassers zu und baute nun mit vieler Mühe einen Apparat, welcher die Verdunstung vermeiden ließ. Nun stellte sich in der That das Gewicht des erhaltenen Gases gleich dem Gewicht des verlorenen Wassers, ein Beweis, daß nichts neues gebildet sei. Simon wog auch die Gasarten einzeln und fand das Verhältnis ihrer Gewichte wie 85 zu 15, wo 85 dem Sauerstoff und 15 dem Wasserstoff entspricht. Das war aber das Verhältnis, welches Lavoisier als das der Gase im Wasser auf chemischem Wege gefunden hatte. Wir wissen heute freilich, daß das nicht ganz richtig ist, es ist zu viel Wasserstoff erhalten in den Versuchen und das kommt daher, daß ein Teil des Sauerstoffs mit zu dem Wasserstoff übergegangen ist. Jedenfalls war Simon zu seinem Schluß durch seine Versuche vollauf berechtigt. Er zeigte auch, daß die Gase gemischt völlig reines Wasser ohne Beimischung wiedergaben, indem er dieselben durch den elektrischen Funken sich wieder zu Wasser verbinden ließ und genau das verlorene Wasser wiederfand.

114. In England beschäftigte man sich gleichzeitig mit den chemischen Wirkungen sehr intensiv. Besonders Davy, der berühmte Chemiker, leistete hervorragendes darin. Er ging von der Voraussetzung aus, daß die ganze Wirkung der Voltaschen

---

1) Gilbert, Annal. X. pag. 282 ff.

Säule auf der verschiedenen Oxydierung der Metalle beruhe. War das richtig, so schloß Davy, muß eine Säule, welche nur aus einem Metall besteht, gerade so viel Elektrizität zu entwickeln imstande sein, wie eine mit zwei verschiedenen Platten, wenn man nur für die nötige Oxydation sorgt. Davy konstruierte[1]) daher Säulen mit einem Metall aber verschiedenen Flüssigkeiten nach drei verschiedenen Anordnungen. In die erste Klasse rechnet er Säulen aus einem Metall und zwei Flüssigkeiten, von denen die eine das Metall oxydiert, die andere nicht, z. B. Zinn, Säure, Wasser etc. Die Säure und das Wasser waren in je einem benetzten Tuchlappen enthalten und muß dabei der Tuchlappen mit der Säure tiefer liegen, wegen der größeren Schwere der Säure. Die zweite Klasse wird gebildet von solchen Metallen, die auf Schwefelwasserstoff wirken, aus eben dieser Flüssigkeit und liquidem Schwefelkali und Wasser, z. B. Metall (Silber, Kupfer oder Blei), liquides Schwefelkali, Wasser etc. Als dritte Klasse fügt Davy hinzu solche Säulen, wo das Wasser der vorigen Anordnung durch Säure ersetzt ist und findet diese Anordnung am kräftigsten wirkend. Wir sehen, in der ersten Klasse soll das Wasser nicht als Säure wirken, was es doch faktisch thut und was auch Davy in der zweiten selbst anwandte; um das daher zu erreichen, setzt er dem Wasser der ersten Klasse etwas Schwefelkali zu und trennt, um eine Vermischung von Säure und Wasser zu vermeiden, die mit diesen Flüssigkeiten getränkten Tuchlappen durch einen mit schwefelsaurem Kali getränkten Lappen. Dieselbe trennende Schicht wendet er bei der dritten Klasse an. Die Stärke der erhaltenen Elektrizität wächst von der ersten bis zur dritten Klasse, der negative Pol ist in der ersten Klasse die Wasser- oder Schwefelkaliseite, in der zweiten Klasse die Schwefelwasserstoffseite, in der dritten ebenfalls.

Diese Davyschen Versuche sind um deswillen so wichtig, weil sie die Voltasche Theorie, daß die Metalle in ihrer Berührung die Elektrizität erzeugten, zu erschüttern geeignet schienen, obgleich die Anhänger Voltas eben die größere oder geringere Oxydation des Metalles als eine Folge der Elektri-

1) Gilbert, Annal. XI. pag. 388.

zität und nicht umgekehrt ansehen wollten. In der That fehlte es nicht an Gelehrten, die eine chemische Theorie der Elektrizitätserregung sofort machen wollten, so besonders Wollaston[1]). Und doch sind die Versuche, welche er anstellte, wohl geeignet gerade Voltas Ansicht zu stützen, jedenfalls aber die Mitte zwischen beiden als das Richtige erscheinen zu lassen, daß nämlich nicht nur durch Berührung von Metallen unter sich, sondern auch von Metallen mit Flüssigkeiten Elektrizität erregt wird. Ob wirklich Oxydierung einen so hervorragenden Einfluß habe, hatte schon v. Marum untersucht und zu dem Zweck eine Voltasche Säule einmal in Luft, dann im luftleeren Raum, dann in Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenwasserstoff wirken lassen und fand stets die gleiche Menge Elektrizität, während freilich Sauerstoff dieselbe erhöhte.[2]) Auch ersetzte v. Marum die Säure oder das angesäuerte Wasser durch alkalische Lösungen, wo von Oxydierung nicht die Rede sein kann, und fand die gleiche Wirkung. Wenn da aber auch nicht Oxydation stattfand, so war doch die chemische Wirkung nicht ausgeschlossen.

115. Davys Säulen mit zwei Flüssigkeiten wurden übrigens auch in der Form der Cruikshankschen Trogapparate von ihm selbst eingerichtet. Später hat Becquerel im Jahre 1823 nach demselben Prinzip ein Element hergestellt[3]), indem er einen Platinstift in ein Gefäß mit Salpetersäure tauchte und gleichzeitig eine Platinzange, in welche ein Stück kaustisches Kali geklemmt war, hineinsteckte, dann ging der Strom vom Kali zur Salpetersäure, und zwar entstand an dem Kali-Pol Sauerstoff, während der Wasserstoff von der Säure zu Wasser oxydiert wurde. Diese Zersetzung beobachtete Becquerel in einem etwas modifizierten Apparat, indem er in das Gefäß mit Salpetersäure eine kleine Thonzelle mit Kalilauge gefüllt setzte und in beide Flüssigkeiten Platin tauchte. Dieser Strom war ein wichtiger Zeuge gegen die rein chemische Theorie des Galvanismus, denn durch das einfache Eintauchen der Platin-

1) Gilbert, Annal. XI. pag. 104.
2) Gilbert, Annal. X. pag. 151—157.
3) Annal. de Chim. et de Phys. 23. pag. 244.

stücke entsteht in keiner der beiden Flüssigkeiten eine chemische Aktion, erst wenn die beiden Platindrähte miteinander verbunden sind, erfolgt die Erregung von Elektrizität und dann tritt eine chemische Wirkung ein.

Diese Erregungstheorien, die man als Kontakttheorie (Voltas Standpunkt) und chemische Theorie (Wollaston-Davyscher Standpunkt) einander gegenüber stellte, haben sich während dieses ganzen Zeitraums streitend gegenüber gestanden, und eine Entscheidung ist nicht erfolgt, da beide, streng durchgeführt, zu Widersprüchen mit Experimenten führen; erst in der späteren Zeit durch Fechner, besonders aber durch Schönbein, Wiedemann und Clausius ist eine Theorie der Elektrizitätserregung geschaffen, welche einen vermittelnden Standpunkt einnimmt und alle Erscheinungen befriedigend erklärt, daher auch heute fast allgemein angenommen ist. Am geeigneten Orte komme ich auf diese Arbeiten.

Das Suchen nach einer geeigneten Theorie hatte aber einen großen Nutzen, es brachte eine Menge Entdeckungen ans Licht, die später bei gehöriger Ausbildung in der That der noch fehlenden Theorie zur wesentlichen Stütze wurden. Lichtenberg trieb zu diesen theoretischen Untersuchungen die Physiker und Chemiker an mit den Worten: „Werden sie sich denn nicht endlich schämen, die Elektrizität bei chemischen Untersuchungen anzuwenden, gerade wie sie die Feuerzange beim Ofen gebrauchen.“ Und doch war es notwendig zunächst noch Experimente zu sammeln, erst im Jahre 1844 konnte eine einigermaßen befriedigende Theorie ans Licht treten.

116. In Deutschland verdanken wir besonders dem Eifer Ritters neue wichtige Thatsachen. Schon 1802 hatte Gautherot[1]) bemerkt, daß wenn er zwei Platindrähte, welche er im Wasserzersetzungsapparat als Stromeinführer (Elektroden) benutzt hatte, an dem einen herausragenden Ende sich berühren ließ und nun die beiden andern Enden auf die Zunge legte, er die bekannte galvanische Geschmacksempfindung spürte. Ritter[2]) konstatierte dasselbe Resultat auch an Goldblättchen und erzeugte auf diese Weise sogar Froschschenkelzuckungen.

1) Voigt, Magazin f. d. Neueste. B. 4, 1802. pag. 832.

2) Voigt, Magazin f. d. Neueste. B. 6, 1803. pag. 97—181.

Die Wirkungen waren verschieden, je nach dem angewandten Metall. Bei Platin war die Zuckung am stärksten, dann folgte Gold, Silber, Kupfer, Wismuth; bei den leicht oxydierbaren Metallen Blei, Zinn, Zink beobachtete er keine Wirkung. Das veranlaßte ihn den Versuch abzuändern, er legte zwei Goldmünzen auf die beiden Seiten einer angefeuchteten Tuchscheibe und verband das eine mit dem +, das andere mit dem — Pol einer Voltaschen Säule; hatte er diese Verbindung eine Zeitlang unterhalten, so zeigte jetzt die Verbindung „Gold, Tuchscheibe, Gold“ auch allein eine Polarität und zwar, wo vorher die + Elektrizität eingetreten war, zeigte sich nun der — Pol und am andern Ende der + Pol. Das führte ihn zur Konstruktion seiner Ladungssäule, indem er eine solche Kombination von Silber, Tuchscheibe, Silber, Tuchscheibe etc. eine Zeitlang der Einwirkung einer Voltaschen Säule aussetzte, dann die Verbindung löste und nun eine selbstthätige Säule erhielt. Ritter erklärte die Wirkung freilich falsch, er meinte, es sammele sich an der Seite der Goldstücke, die mit dem schlechten Leiter, der feuchten Tuchscheibe, in Berührung standen, die der zugeführten entgegengesetzte Elektrizität, sodaß er die Säule als Ansammlungsapparat nach Art der Kondensatoren erklärte. Dagegen bemerkt Volta[1]), der sich mit Ritters Versuch sofort beschäftigte, daß man es nicht mit einer Ansammlung zu thun habe, sondern mit einer Zersetzung. So lange nämlich der Strom der Voltaschen Säule durch die sogenannte Ladungssäule gehe, werde das Wasser in der Tuchscheibe zersetzt, es bilde sich Sauerstoff an der Seite, welche mit dem + Pol und Wasserstoff an der, welche mit dem — Pol verbunden sei; so entstehe eine Säule mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten und einem Metall nach Art der Davyschen Säule, wird also die Verbindung mit der Voltaschen Säule aufgehoben, so wirke die Ladungssäule so lange, bis das zersetzte Wasser in der Tuchscheibe sich wieder regeneriert habe. Wir sehen, Volta giebt bereits die richtige Erklärung der Erscheinungen, welche wir heute unter dem Namen Polarisation zusammenfassen, die zur Konstruktion der sekundären Elemente führte.

1) Gilbert, Annal. XIX. pag. 490.

Ritter beobachtete auch zuerst die ebenfalls durch Polarisation hervorgerufene Schwächung einer Voltaschen Säule durch Einschaltung von sogenannten „unthätigen" Elementen, bestehend aus einem mit angesäuertem Wasser gefüllten Becher, in welches zwei gleiche Metallstreifen tauchen, die mit den Polen der Voltaschen Säule in Verbindung stehen. Hier findet dieselbe Zersetzung statt, und dadurch wirkt dieses „unthätige" Element als thätiges Element in entgegengesetztem Sinne, wie der durch dasselbe geleitete Strom. Eine Beobachtung, welche 1826 von Marianini bestätigt und vervollständigt wurde[1]). Es ist derselbe Grund, der die Schwächung der Voltaschen Säule bedingt und die Notwendigkeit der Konstruktion konstanter Elemente hervorruft.

117. Wir können uns noch nicht von den chemischen Versuchen Davys trennen, denn die wichtigste Entdeckung, wofür er den kleinen galvanischen Preis vom National-Institut zu Paris erhielt[2]), der von Napoleon am 15. Juni 1802 gestiftet war, haben wir noch nicht erwähnt. Davy hatte schon bis zum Jahre 1807 den galvanischen Strom zur Zersetzung aller möglichen flüssigen Verbindungen und Lösungen benutzt; es würde zu weit führen, all die einzelnen Metallsalze aufzuzählen, welche er der galvanischen Behandlung unterwarf[3]). Am Ausgange des Jahres 1807 wandte Davy den Strom auf Kalihydrate an[4]); er schmelzte in einem Platinlöffel Aetzkali, verband diesen mit dem Pol der Säule und tauchte in die flüssige Masse einen Platindraht, welcher mit dem — Pol verbunden war; jetzt sammelten sich an dem — Pol kleine metallglänzende, silberweiße Kügelchen, während am + Pol Sauerstoff gebildet wurde. Diese metallischen Kügelchen repräsentieren das Kalium, welches sehr verwandt dem Sauerstoff ist und an der Luft sich sofort wieder zu Kaliumoxyd degeneriert, daher bewahrte Davy die erhaltenen Kügelchen unter rektifiziertem Oel auf. Mit Wasser verbunden verbrannte es mit einer sehr intensiven

1) Schweigger, Journal 49. pag. 30.

2) Gilbert, Annal. XXVIII. pag. 309.

3) Eine ausführliche Zusammenstellung der Davyschen Versuche findet man in Gilberts Annal. XXVIII. 1808. pag. 1—44 u. 161—203.

4) Gilbert, Annal. XXVIII. pag. 148 ff.

Flamme explosiv. Dasselbe führte Davy beim Natriumhydroxyd durch, wo er das etwas weniger leicht sich zersetzende Metall Natrium fand. Beide Metalle fand er leichter wie Wasser, gab aber ihr spezifisches Gewicht zu 0,6 an, und es ist bei Ka = 0,86, bei Na = 0,97. Sogleich sprach Davy die Vermutung aus, daß auch die alkalischen Erden sich als zusammengesetzt ergeben würden, und in der That gelang es, Barium aus Chlorbarium, Strontium aus Chlorstrontium, Calcium aus Chlorcalcium mittels der Elektrolyse herzustellen.

Es erfüllten sich in der That die Hoffnungen, welche Gilbert aussprach, daß die Chemie aus dieser Entdeckung Davys einen neuen Aufschwung erhalten würde. Es ist hier auch das Urteil Gilberts zu unterschreiben, daß diese glänzende Entdeckung dem rastlosen Streben und systematischen Suchen Davys zu verdanken sei, der davon ausging, die von anderer Seite behauptete Möglichkeit der Erzeugung einer Säure und eines Alkalis aus chemisch reinem Wasser gründlich zu widerlegen, infolge dessen die Alkalien (damals nur in Verbindungen bekannt und als Elemente, einfache Körper, betrachtet) in ihrem Verhalten gegen den galvanischen Strom untersuchte, und nicht dem Zufall, wie nach Notizen der Zeitungen (Allgemeine Zeitung, Moniteurs universelle), zu glauben war, deswegen hält Gilbert auch mit Recht die vorhergehenden Arbeiten Davys für wichtiger, als die das Resultat seiner Bemühungen bietende.

118. In der That ist Davy in diesen grundlegenden Arbeiten[1]) der Urheber der elektrischen Theorie der chemischen Verbindungen, er setzt die Affinitätskräfte gleich den elektrischen Anziehungen und Abstoßungen, zwischen entgegengesetzten oder gleichen Elektrizitäten, faßt also die Elemente als elektrische auf und teilt sie in positive und negative, danach muß beim Durchgange des galvanischen Stromes die Wirkungsweise die sein, am + Pol werden angezogen die negativ elektrischen Teilchen des Körpers, am — Pol die + elektrischen, sind diese Anziehungen stark genug, so tritt eine Zersetzung

1) The Bakerian lecture on Electricity considered as to its chemical agencies am 20. Nov. 1806 in der Königl. Societät zu London gelesen. Phil. Transact. 1807. pag. 1.

des Körpers ein, d. h. die Affinitätskraft, welche den Körper aus den + und − elektrischen Elementen gebildet hat, wird überwunden und die Zerreißung der verschieden elektrischen Elemente tritt ein. Dasselbe wandte Davy an zur Erklärung der Wirkungsweise der Voltaschen Säule. Da ist das Kupfer das negative Metall und Zink positiv, befindet sich also zwischen zwei solchen Plattenpaaren eine Flüssigkeitsschicht, z. B. eine Kochsalzlösung, so begiebt sich das − Element des Wassers, d. h. der Sauerstoff, zum + Metall, während der + Wasserstoff sich zum − Kupfer begiebt. Davy sucht dann auch die Frage nach der Priorität der Elektrizität vor der chemischen Aktion zu beantworten, indem er sagt, die elektrischen Kräfte der Metalle (die Spannungsdifferenzen) stören das Gleichgewicht, und sofort fängt die chemische Wirkung an und suchen die chemischen Kräfte das Gleichgewicht wiederherzustellen. Eine Auffassung, die der späteren von Schönbein sehr nahe kommt. Einen ausgezeichneten Bericht hierüber stattete der berühmte Physiker Gay-Lussac dem National-Institute mit, freilich sprach Davy seine Theorie nur hypothetisch aus, allein alle Beobachtungen bestätigten sie, so daß sie die allgemeinste Verbreitung fand. Eine wesentliche Stütze dieser Hypothese wurde die von Thenard und Gay-Lussac gleich nachher ausgeführte Erzeugung des Kalium und Natrium auf rein chemischem Wege, ohne Anwendung des galvanischen Stromes[1].

119. Davys Entdeckung machte fast noch mehr Aufsehen als Voltas Säule, aller Orten in ganz Europa wurde die Herstellung des Kaliums, Natriums, Bariums etc. wiederholt. Interessant ist die Methode, welche Seebeck, damals in Jena lebend, erfand und die noch heute zur Herstellung benutzt wird. Er legte auf ein Platinblech ein Stück Ätzkali (Kalihydrat), höhlte dasselbe etwas aus und that Quecksilber hinein, läßt man nun das Platinblech mit dem + Pol in Verbindung, während man in das Quecksilber den mit dem − Pol verbundenen Platindraht taucht, so verbindet sich das entstehende Kali mit Quecksilber zu einem festen Amalgam, wird dies unter Ausschluß von Luft geglüht, so entweicht das Quecksilber als

1) Gilbert, Annal. XXVIII. pag. 327.

Dampf, während das metallische Kalium zurückbleibt[1]). Seebeck fand auch, daß es nicht nötig sei Ätzkali anzuwenden, sondern daß das Amalgam auch aus den anderen Kaliverbindungen, z. B. Weinstein, erhalten werde. Es würde mich zu weit führen, alle weiteren chemischen Resultate hier aufzuführen; die Elektrizität wurde auf alle Verbindungen angewandt und viele Elemente verdanken dieser Methode ihre Entdeckung, für die Physik ist wichtig nur das Prinzip, deswegen habe ich das ausführlich erörtert, und erst bei Faraday werden wir uns wieder mit chemischen Wirkungen zu beschäftigen haben, da von diesem vorzüglichen Genie die Theorie herrührt, welche heutzutage noch gilt.

120. Es wird an der Zeit sein, hier einige Daten über Davys Leben einzufügen, später wird er uns noch mit weiteren Entdeckungen beschäftigen. Sir Humphry Davy wurde 1778 geboren als ältester Sohn eines wenig bemittelten Holzschnitzers zu Penzance in Cornwallis; 16 Jahre alt wurde er zu einem Chirurgen in die Lehre gegeben, der nebenbei auch das Apothekergewerbe betrieb, hier betrieb er das Studium der Chemie sehr eifrig, sodaß er 1798 bereits als Chemiker an der Pneumatik Institution des Dr. Beddoes zu Clifton bei Bristol angestellt werden konnte; 1801 vertauschte er diese Thätigkeit mit der eines Hilfslehrers an der vom Grafen von Rumford gegründeten Roy. Institution, an welcher Anstalt er im folgenden Jahre Professor wurde. Schon 1801 wurde er zum Mitglied der Roy. Soc. gewählt, welcher er von 1820 bis 1827 präsidierte. Als Davy im Jahre 1812 zum Sir ernannt wurde und sich sehr reich verheiratete, gab er seine Lehrstellung auf und lebte als Privatmann, häufige Reisen machend, aber unausgesetzt wissenschaftlich thätig bis zu seinem schon 1829 in Genf erfolgenden Tode.

121. Die Voltasche Säule selbst fand vielfache Veränderungen, gewöhnlich wandte man Kupfer und Zink an zur Erregung und trennte dieselben durch einen mit Kochsalzlösung, angesäuertem Wasser, Kalilauge, verdünnter Salpetersäure und dergleichen Flüssigkeiten benetzten Tuchlappen. Um die Wir-

---

1) Gilbert, Annal. XXVIII. pag. 476.

kungsweise zu erhöhen, wandte man die verschiedensten Hilfsmittel an. Gilbert preßte die Säule zusammen[1]), dabei durften die zwischenliegenden Pappscheiben nicht zu viel Feuchtigkeit enthalten, da dieselbe durch den Druck ausgepreßt über den Rand der Metallplatten lief und so direkte Verbindung herstellte. Der Graf Kaspar v. Sternberg in Regensburg hatte sich schon 1802 eine Säule von achtzölligen Kupfer- und Zinkplatten gebaut, die er zusammenlötete, um die Berührung vollständig zu machen[2]). An einer aus fünf solchen Paaren bestehenden Säule beobachtete er auch den wichtigen Einfluß der Oberfläche der Platten auf die Wirkung. Es war schon lange von Volta behauptet, daß die Wirkung proportional der Anzahl der Platten sei, Nicholson hatte schon für die chemische Wirkung der Säule gezeigt, daß Voltas Behauptung nahezu richtig sei, ebenfalls war es gezeigt für die Stärke der erhaltenen Schläge und die Länge der Funken. Pfaff zeigte[3]) in einem Briefe vom 25. Dez. 1801, daß auch bei Vergrößerung der Oberflächen der Platten eine Verstärkung der Wirkung der Säule eintrete, daß dieselbe aber nicht von einer veränderten Spannung oder Polarität herrühre, sondern „von einer Abänderung der Geschwindigkeit des elektrischen Stromes“. So zeigten Säulen von gleicher Plattenzahl, aber verschiedenen Oberflächen, unter sonst gleichen Umständen (Flüssigkeitsschichten) gleiche Polarität und Spannung (bei der offenen Säule gemessen am Elektrometer). Die Differenz ihrer Wirkung bei geschlossener Kette hänge ab von der verschiedenen „Leitungskraft“ der Flüssigkeitsschichten, die von der Größe der Oberfläche und der Natur derselben abhänge. Die experimentelle Grundlage dieser höchst wichtigen Behauptung hatte Volta selbst geliefert[4]). Graf Sternberg nun beobachtete dieselbe Erscheinung, die Simon[5]) um dieselbe Zeit in Berlin beobachtet hatte, daß durch Vergrößerung der Oberfläche die Erzeugung von Funken wesentlich erleichtert werde, daß die Kraft aber nicht vergrößert werde

1) Gilbert, Annal. VII. pag. 157.
2) Gilbert, Annal. XI. pag. 132.
3) Gilbert, Annal. X. pag. 234.
4) Gilbert, Annal. IX. pag. 491.
[illegible]rt, Annal. IX. pag. 385.

in Rücksicht auf die physiologische und chemische Wirkung. Sternberg hatte von seinen fünf Platten stärkere Funken als an einer 80 Plattenpaare haltenden Säule von kleinem (dreizölligem) Querschnitt, dagegen waren die Schläge von den fünf Platten kaum zu bemerken, höchstens an verwundeten Stellen, ebenso gering war die Zersetzung von Flüssigkeiten. Erst das Ohmsche Gesetz wird diese wichtigen Entdeckungen, denen freilich vielfach widersprochen wurde, erklären können.

122. In Bezug auf das Verbrennen und Funkengeben ist noch eine Entdeckung Ritters[1]) von Wichtigkeit, die ihre Bestätigung später bei dem elektrischen Licht (dem sogenannten Davyschen Lichtbogen) erhalten hat. Er ließ Silberplättchen eingeschaltet in eine Batterie von 224 Plattenpaaren durch den Strom schmelzen, beobachtete aber stets nur an dem mit dem + Pol in Verbindung befindlichen Ende die Verbrennung, während das mit dem — Pol verbundene Silberplättchen intakt blieb; er änderte seine Versuche ab und wandte Kohle und Silber an, befand sich Silber am + Pol, so brannten in dasselbe Löcher hinein, sobald man es mit dem Kohlenstift leise berührte, brachte man aber die Kohle an den + Pol, das Silber an den —, so blieb das Silber unverändert, während sich von der Kohle gelbglühende Partikelchen ablösten und die Ränder der Kohle rund wurden. Es ist Ritter so gewissermaßen ein Vorläufer de la Rives, welcher nur an die Stelle des Silbers auch noch Kohle setzte und nicht mit Plattenpaaren, sondern mit Hydroelementen arbeitete.

123. Da nun Vermehrung der Platten ebenso wie Vergrößerung derselben eine Verstärkung des Stroms bedingen, lag die Frage nahe, in welchem Verhältnis stehen die durch dieselben hervorgerufenen Verstärkungen. Da ist das Urteil Ritters[2]) von Interesse, daß bei einer bestimmten Anzahl Platten eine bestimmte Breite der Säule nach beiden Richtungen hin das Maximum der Wirkung gebe, d. h. möglichst starke chemische Wirkung und möglichst lange Funken liefere; man kann wohl die Wirkung nach einer Richtung hin ver-

1) Gilbert, Annal. IX. pag. 344.
2) Gilbert, Annal. XIX. 1805. pag. 38.

stärken, z. B. der chemischen durch Vermehren der Platten, aber auf Kosten der andern. Es giebt somit für eine bestimmte Breite eine Grenze der Leistungsfähigkeit in der Höhe der Säule und bei einer bestimmte Höhe eine Grenze in der Breite. Wichtiger noch ist der von seinen Zeitgenossen angezweifelte Satz[1]), daß „der Effekt der Säule bei gleicher Spannung“, d. h. bei gleichen Metallen und Flüssigkeiten, „abhänge von der Summe der Leitung in der Säule und dem schließenden Bogen“. Das sprach Ritter bereits 1805 aus, wir glauben uns dabei in die Zeit von 1827 versetzt, wo Ohm die volle Bestätigung dieses Satzes in seinem Gesetze gab. Ritter unterscheidet so bereits zwischen dem Widerstand des Elements und des Schließungsbogens, wie wir heute sagen, und er würde bereits, wenn er den Satz in Zeichen angäbe, das Ohmsche Gesetz $i = \frac{E}{W + w}$ aussprechen, wenn er mit i den „Effekt“ (Intensität), mit E die „Spannung“ (elektromotorische Kraft), mit W den Widerstand der Säule (des Elements) und mit w den des Schließungsbogens bezeichnete.

124. Die nach diesen Untersuchungen unter Umständen notwendige Vergrößerung der Platten war am bequemsten durch Anwendung von Becherelementen oder Trogapparaten zu erreichen, da bei der Säule durch Vergrößerung der Platten auch das Gewicht wesentlich vergrößert wurde, sodaß die zwischenliegenden Tuchplatten durch die überliegenden Metallplatten derartig gedrückt wurden, daß die Flüssigkeit herausgepreßt wurde, über den Rand der Metallplatten herablief und die betreffenden Platten unwirksam machte. Um nun eine möglichst große Oberfläche wirksam zu haben, wurde von Oerstedt, der uns hier zum erstenmale auftritt, eine andere Form des Becherapparates eingeführt, die vielfach angewandt wurde[2]), da die Holztröge, welche bis dahin hauptsächlich zur Verwendung kamen, bei längerem Gebrauche von den eingeschütteten Säuren durchdrungen und deswegen leitend wurden. Oerstedt wandte zuerst einen einfachen viereckigen Becher aus

1) Gilbert, Annal. XIX. 1805. pag. 22.
2) Schweigger, Journal XX, 1818. pag. 205.

Kupfer an, in welchen eine viereckige dicke Zinkplatte, die an ihrem unteren Ende zwei Löcher hatte, in welchen kleine Holzfüße befestigt wurden, um die direkte Berührung zwischen Kupfer und Zink auszuschließen, hineingesetzt wurde. Um aus solchen einzelnen Elementen eine Kette herzustellen, wurde an den kupfernen Becher ein Bügel angebracht, welcher mit dem Zink des nächsten Elementes zusammengelötet wurde. Mit einem solchen Apparate erhielt Oerstedt sehr kräftige Ströme und demonstrierte denselben am 1. Oktober 1816.

Um bequemer den Einfluß von Temperaturerhöhung auf die Erzeugung des Stromes untersuchen zu können, änderte er die Form ab, und erhielt damit eine bedeutende Verstärkung der Wirkung. Er konstruierte einen kupfernen Doppelcylinder aus zwei verschieden weiten Röhren, die er am unteren Ende durch eine Kupferplatte schloß, sodaß der Becher aussah, als hätte er innen einen Schornstein. In der That war dies auch ursprünglich der Zweck der inneren Kupferröhre. Dieses Kupfergefäß stellte er auf drei Glasfüße, goß in den Hohlraum zwischen den beiden Kupfercylindern die anzuwendende Flüssigkeit und stellte in denselben einen auf drei kleinen Holzfüßen ruhenden Zinkcylinder, welchen er in Ermangelung gewalzten Zinkes in drei Stücken goß und aneinander nietete. Da das Zusammenlöten der Zinkcylinder mit dem kupfernen Bügel des vorherigen Elementes sich wegen der notwendigen, sorgfältigen Reinigung nach dem jedesmaligen Gebrauche als unpraktisch erwiesen hatte, machte Oerstedt in den Zinkcylinder ein Loch und ließ denselben direkt an dem kupfernen Bügel des vorherigen Elementes hängen.

Mit diesem Apparate glaubte Oerstedt nachweisen zu können, daß warmes Wasser stärkere Ströme liefere wie kaltes. Er füllte dazu das innere Rohr seines Kupfercylinders, welches er unten mit einem Roste versehen hatte, mit glühenden Kohlen. Diese Beobachtung hat sich später nicht bestätigt, wenigstens konnte Poggendorff[1]) bei Einschaltung zweier solcher Säulen von gleicher Becherzahl in entgegengesetzter Richtung keinen Strom am Galvanometer nachweisen, ob sie beide gleiche oder

1) Poggendorff, Annal. L. 1840. pag. 264.

verschiedene Temperatur hatten. Ja nach Crova[1]) soll die Kraft eines Daniellschen Elementes sogar mit Temperaturerhöhung langsam abnehmen. Doch möchte hierin das letzte Wort wohl noch nicht gesprochen sein.

125. Wichtiger sind Oerstedts Bemerkungen über den Funken. Der erste Funken durch eine Voltasche Säule hervorgerufen, wurde von Volta mit Hilfe des Kondensaters erhalten[2]) und direkt von der Säule durch Nicholson[3]) entdeckt. Seitdem hatte man die Funkenerzeugung schon etwas genauer untersucht und Ritter[4]) hatte bereits den Unterschied zwischen Schließungs- und Öffnungsfunken dargethan. Man hatte den Funken nämlich bisher als nur bei Annäherung der beiden Pole möglich angesehen, da bei der Entladung der Batterie stets bei Annäherung des Konduktors der äußern Belegung an den Knopf der inneren der Funken übergesprungen war. Ritter zeigte, daß wohl ein Schließungsfunken existiere, aber der Öffnungsfunke schon bei viel geringerer Intensität des Stromes zu beobachten und konstanter sei. Man hatte schon früh gleichfalls wahrgenommen[5]), daß die Entladung einer Voltaschen Säule durch einen dünnen Metalldraht in demselben eine Erwärmung hervorruft.

Durch diese Thatsache und die Überlegung, daß die Wärme erzeugt sei durch die Entstehung des galvanischen Stromes durch Zersetzung in den Elementen, ließ sich Davy bewegen zu versuchen, ob die chemische Wirkung des Stromes auch von etwaiger Temperaturerhöhung abhängig sei. Er wandte zwei ineinander ragende Kegel aus Gold an, deren unteren er mit dem positiven Pole der Säule, deren oberen er mit dem negativen verband, er wählte Goldkegel, um die Zersetzung durch den Strom allein zu bewerkstelligen und die eigene galvanische Wirkung auszuschließen. Ließ er in den positiven Kegel einen Tropfen einer Auflösung schwefelsauren Kalis fallen, so begann die Zersetzung sofort und es trat eine Temperatur-

1) Comptes rend. 1869. pag. 440.
2) Gilbert, Annal. IV. 1800. pag. 343.
3) Gilbert, Annal. IV. 1800. pag. 356.
4) Gilbert, Annal. IX. 1801. pag. 351.
5) Gilbert, Annal. XXVIII. 1808. pag. 187.

steigerung ein, daß das Wasser, welches er in den oberen Kegel gegossen hatte, in zwei Minuten zum Kochen kam.

Wilkinson[1]) hatte untersucht, wie die Kraft Drähte zu glühen mit der Anzahl und Größe der Platten zunehme und hatte konstatiert, daß große Platten geeigneter sind wie kleinere zum Glühen und Schmelzen von Drähten. Eine Säule aus 400 vierzölligen Plattenpaaren war nur imstande einen zwei Zoll langen Eisendraht zu glühen, während eine solche von 100 achtzölligen Plattenpaaren 32 Zoll desselben Drahtes glühend machte.

Während nun diese Forscher die Frage nach der Entstehung des Funkens ganz unberührt ließen, finden wir bei Oerstedt[2]) bereits die beiden vorstehenden Erscheinungen, die Funkenerscheinung und die Wärmeerzeugung glücklich kombiniert. Er kam dazu, indem er Funken durch Quecksilberkontakt erzeugte im Schließungskreise seiner Säule, und nun keine bedeutende Temperaturerhöhung des Quecksilbers wahrnahm. Er erklärt den elektrischen Funken als ein „Glühen einer Materie“, sodaß, da die Erwärmung zunimmt, bei Abnehmen des Querschnittes des Drahtes schließlich, wenn dieser Querschnitt, wie es beim Kontakt stets ist, sehr klein wird ein Glühen und Verbrennen des Metalles entsteht. So erscheint der Funke nur als ein spezieller Fall des allgemeineren Gesetzes der Erwärmung durch den Strom, und diese giebt er an als direkt proportional dem Widerstande, welchen die Drähte dem Strome entgegensetzen. Zum Schluß dieser Arbeit beklagt sich Oerstedt über die Vorliebe der Deutschen für ausländische Entdeckungen, indem die „theoretischen Spekulationen englischer und französischer Physiker“ weitläufig in deutschen Schriften auseinandergesetzt würden, während man die analogen früheren Untersuchungen Einheimischer mit Stillschweigen übergehe, selbst wenn die fremden Arbeiten noch von ihnen lernen könnten. Was würde Oerstedt wohl heutzutage sagen, wo man zu Nutz und Frommen ausländischer Forscher die bedeutendsten Leistungen deutscher Gelehrter theilweise geflissentlich herabdrückt?

1) Gilbert, Annal. XIX. 1805. pag. 45.
2) Schweigger, Journal XX. 1818. pag. 211.

126. Das Glühen und Schmelzen der Drähte wurde damals in großem Maßstabe betrieben, so glühte Childern[1]) einen Platindraht von $8^1/_2$ Fuß Länge und 0,11 Zoll Dicke mit Hilfe einer Trogbatterie aus 21 Plattenpaaren, von denen die Zinkplatten 32 Quadratfuß, die Kupferplatten die doppelte Oberfläche hatten, indem immer an jeder Seite einer Zinkplatte in jeder Zelle je eine Kupferplatte angebracht war. Eine andere sehr merkwürdige Thatsache beobachtete Childern; er steckte die mit den Polen seiner starken Säule verbundenen Leitungsdrähte in zwei Quecksilbernäpfe, welche er dann wiederum unter sich durch einen Platindraht verband. Während nun der Platindraht glühend wurde, erhitzte sich das mit dem negativen Pole verbundene Quecksilbernäpfchen um 9° F. mehr als das mit dem positiven Pol verbundene. Einen solchen Unterschied hatte schon Ritter 1801 gemacht, er behauptete am positiven Pole eine Wärmeempfindung, an dem negativen eine Empfindung von Kälte gehabt zu haben, das ist natürlich eine Übertreibung.

Systematischer ging auch in dieser Hinsicht Davy[2]) zu Werke, welcher Drähte von gleicher Länge und Dicke untersuchte, aber von verschiedenem Metall. Da fand er bei gleicher stromgebender Säule, daß der Grad der Erhitzung ein verschiedener sei, die Reihenfolge ist nach ihm von den am wenigsten erhitzten zu den stärker beeinflußten:

Silber, Kupfer, Blei, Gold, Zink, Zinn, Platin, Palladium, Eisen.

Diese Reihe ist eine Bestätigung jener Oerstedtschen Behauptung, daß die größere Erwärmung nur durch den größeren oder geringeren Widerstand bedingt sei, indem Eisen am schlechtesten, Silber am besten leitet. Eigentlich hätte diese Thatsache erst im nächsten Abschnitte registriert werden sollen, allein zwischen dieser sich hier gut anschließenden Arbeit Davys und der nächsten wichtigen Joules liegen genau 20 Jahre, sodaß ich Davy noch in diesen Abschnitt gebracht habe.

In demselben Jahre machte Davy noch eine andere wich-

1) Gilbert, Annal. LII. 1816. pag. 353 und 369.
2) Phil. Transact. 1821. pag. 7.

tige Entdeckung, welche wir später wieder benutzen müssen; er fand, daß der Widerstand eines Drahtes gegen die Elektrizität wächst mit der Temperatur; als er nämlich einen schwach glühenden Draht an einer Stelle durch eine Lampe intensiv erwärmte, hörte der Draht an den übrigen Stellen auf zu glühen, die Intensität des Stromes wurde geringer, da der Widerstand des Drahtes größer wurde.

127. Die Überzeugung, daß die Berührungselektrizität in der That auch nichts anderes sei als die Reibungselektrizität, hat sich übrigens nicht so leicht Bahn gebrochen, wie man nach den Versuchen Voltas, Pfaffs und anderer annehmen sollte. Ein wesentliches Verdienst um diese Erkenntnis erwarb sich Erman[1] in Berlin, welcher sich hauptsächlich gegen A. v. Humboldt wendend, dessen Einwände gegen die behauptete Identität widerlegte.

Humboldt führt drei Behauptungen ins Gefecht, auf Grund deren er sich berechtigt glaubt, die Gleichheit von Elektrizität und Galvanismus abzusprechen. Es sollten die Flammen, die trockenen Knochen und der luftleere Raum den Galvanismus isolieren, während sie die Reibungselektrizität leiten sollten. Zunächst weist Erman nach, daß die Flammen die Elektrizität der Voltaschen Säule gerade so gut leite, wie die der Elektrisiermaschine, indem er den einen Pol der Säule durch einen Draht in die Flamme leitete und durch einen zweiten Draht die Flamme mit einem Goldblattelektroskop verband, berührte er den zweiten Pol der Säule ableitend, so erfolgte sofort eine Divergenz der Goldblättchen, führte er vom zweiten Pol ebenfalls einen Draht in die Flamme, so hörte die Divergenz auf am + Pol; dagegen nahm sie zu am negativen. Das hat seinen Grund in der eignen Entwicklung von Elektrizität seitens der Flamme. Daß die Flamme eine sehr verschiedene Wirkung äußern kann, werden wir im letzten Zeitabschnitt sehen. Was die Leitung der Knochen für die Reibungselektrizität angeht, so fand Erman die äußerst schwach und oft gar nicht sicher nachweisbar und dasselbe wiederholte sich bei den Säulen. Endlich der luftleere Raum, den A. v. Humboldt als guten Leiter der Elektri-

1) Gilbert, Annal. XI. 1802. pag. 143.

zität hinstellt, ist wie Erman ausführlich zeigt ein absoluter Isolator, und wenn er dasselbe für die Säulenelektrizität auch ist, so gewinnt die Ansicht von der Gleichheit der beiden Elektrizitäten bedeutend an Wahrscheinlichkeit. Ebenso fügt Erman das gleiche Verhalten des Eises als Nichtleiter gegenüber der Reibungs- und Berührungselektrizität den andern Beweismitteln zu.

Daß übrigens auch solche besonnene Physiker wie Erman auf falsche Fährte geraten konnten, beweist der Umstand, daß Erman 1806 sogar den kleinen Napoleonschen Preis erhielt für eine Arbeit, worin er zeigen will, daß einzelne Metalle verschiedene Leitungsfähigkeit für + und − Elektrizität von den Polen der Säule besäßen.[1])

Die Übereinstimmung zwischen Elektrizität und Galvanismus wurde ferner durch Ritter[2]) dargethan, indem derselbe mit der Voltaschen Säule auch die Lichtenbergschen Figuren erzeugte, und durch v. Marum, welcher dieselbe chemische Wirkung[3]), wie sie die Voltasche Säule gab, auch durch die Elektrisiermaschine erzeugte, und welcher große Batterien mit der Voltaschen Säule lud, ebenfalls die Rittersche Ladungssäule durch seine große Elektrisiermaschine zu laden imstande war.[4])

128. Es ist selbstverständlich, daß bei dem hohen Interesse, welches in der Zeit die Säule und die mit derselben angestellten Versuche allgemein in Anspruch nahmen, die Reibungselektrizität geringe oder keine Ausbildung in dieser Zeit erhielt, wenn wir von den Arbeiten Nicholsons[5]) absehen. Auch Nicholsons Arbeiten bieten wenig Neues, es ist wesentlich die berichtigende Messung, welche er an alten Apparaten, den verschiedenen Elektrisiermaschinen, dem Goldblattelektroskop und andern anstellte. Das wesentliche Resultat dieser Versuche mochte immerhin sein, daß die Scheibenmaschinen bessere Dienste leisten, wie die Cylindermaschine und daß Glas zur Herstellung einer solchen geeigneter ist, wie irgend

---

1) Gilbert, Annal. XXVIII. 1808. pag. 310.
2) Voigt, Magazin f. d. Neueste, VI. pag. 181.
3) Gilbert, Annal. XI. 1802. pag. 220.
4) Gilbert, Annal. XIX. 1805. pag. 488.
5) Gilbert, Annal. XXIII. 1806. pag. 270.

ein anderer Körper. Neu in der Arbeit ist die Beobachtung des Ladungsvermögens der Glimmerplättchen, welche er gebrauchte um eine leichte Batterie herzustellen. Batterien konstruiert man heutzutage nicht mehr aus Glimmer wegen der leichten Zerbrechlichkeit, aber sonst wird dasselbe noch vielfach gebraucht zu elektrischen Apparaten.

129. Indirekt hat die Reibungselektrizität aber auch durch die Voltasche Säule profitiert. Im Jahre 1803 machte ein bis dahin unbekannter Physiker, Georg Bernhard Behrens, geboren 1775 zu Züssow bei Greifswald als Sohn eines Predigers, welcher in Greifswald Mathematik studiert hatte und nach beendetem Studium im Hause seines Vaters als cand. math. lebte, aber, als er sich in Rostock habilitieren wollte, 1813 an der Schwindsucht starb, eine Entdeckung[1]), die für die Konstruktion von Elektroskopen sehr fruchtbar gewesen ist. Er wollte nachweisen, daß Volta mit seiner Ansicht über die Berührungselektrizitiät Recht habe gegenüber den Chemikern und wählte deswegen als Leiter zwischen zwei Kupfer-Zink-Plattenpaaren einen Feuerstein, welcher vorher stark erwärmt war, um ihm die etwa innewohnende Feuchtigkeit zu nehmen. Diesen Apparat umwickelte er mit Seidenfäden und legte ihn lange Zeit auf den Ofen, um ihn völlig auszutrocknen, bei der folgenden Untersuchung am Goldblattelektroskop fand er an den beiden Polen die verschiedenen Elektrizitäten in gleich hohem Grade und doppelt so viel, als wenn er nur ein Plattenpaar benutzt hatte. Er glaubte damit bewiesen zu haben, daß eine elektrische Säule ohne jede Flüssigkeit möglich sei.

Beim Suchen nach andern geschickten trockenen Leitern fand er, wie zufällig, daß ein Stückchen Goldpapier, welches mit der Goldseite an die Kupferplatte gelegt war, mit der Papierseite aber an dem Zink lag, die Erscheinung noch besser darstellte; die Spannung an den Polen einer so gebildeten Säule war gleich der einer gewöhnlichen Voltaschen Säule von gleicher Plattenzahl mit Flüssigkeit, nur erfolgte das Maximum der Ladung nicht sofort, sondern erstnach mehreren Sekunden. Funken und Wasserzersetzung konnte er auf diese Weise nicht erhalten. Nach

1) Gilbert, Annal. XXIII. 1806. pag. 1.

drei Monaten war die Säule noch gerade so wirksam, wie zu Anfang, und die Platten hatten noch denselben metallischen Glanz, es war also auch in der Säule selbst keine chemische Wirkung zu beobachten. Daß hier das Papier nur als Leiter, nicht aber als Miterzeuger der Elektrizität anzusehen sei, zeigte Behrens, indem er zwischen die Metallplatten einer gewöhnlichen Voltaschen Säule die Papierblätter legte und nun diese Säule völlig unwirksam fand. Um die Leitungsfähigkeit der Papierstücke zu erhöhen, hatte er sie in eine schwache Salzlösung gelegt, und die Feuchtigkeit durch Trocknen wieder beseitigt.

Nachdem Behrens sich überzeugt hatte, daß von den Polen einer solchen Säule leicht bewegliche Staniolblättchen angezogen wurden, ging er über zur Konstruktion eines Säulen-Elektroskops.[1]) Zwei auf die obenbeschriebene Weise gebildete Säulen sind mit umgekehrten Polrichtungen in einiger Entfernung nebeneinander vertikal auf einem Holzfuß, welcher zwischen den beiden Säulen einen ziemlich weiten Glascylinder trägt, aufgestellt, sodaß der positive Pol der einen, aber der negative der andern nach oben zeigt, von diesen aus gehen Drähte durch seitliche Durchbohrungen in den Glascylinder und werden hier in kleinen, $^1/_2$ Zoll breiten, Platten senkrecht nach oben gebogen, sodaß sich die Pole in geringer Distanz einander gegenüberstehen; zwischen diesen Platten hängt ein Streifen Goldblatt von dem Deckel des Glascylinders herunter, an einer mit einer Platte am oberen Ende versehenen, durch den Deckel des Gefäßes ragenden Messingstange befestigt. Die beiden unteren Enden der Säule werden unter sich durch einen Draht verbunden und durch ein Stanniolblatt mit der Erde in ableitende Berührung gebracht. Hängt nun das Goldblatt genau in der Mitte zwischen den beiden Platten der Säulen, so wird es von jeder gleich stark angezogen, wird ihm aber nur die geringste Elektrizität mitgeteilt, so wird es von dem mit entgegengesetzter Elektrizität versehenen Pol angezogen, während der gleichnamige Pol abstößt, also die Bewegung des Goldblattes verstärkt. An die Stelle der Kupfer- und Zinkplatten setzt Behrens hier Messing und

---

[1]) Gilbert, Annal. XXIII. 1806. pag. 25.

Stanniolplättchen, giebt aber auch an, daß verzinnte oder verzinkte Bleche wohl noch besser wären. Um die gleiche Entfernung der Polplatten von dem Goldblatt zu bewerkstelligen, macht er die in den Glascylinder führenden Drähte durch Schrauben verschiebbar.

130. Bis zum Jahre 1810 blieb Behrens' Entdeckung ganz unbeachtet, und, wie es scheint, unabhängig von ihm, kam in diesem Jahre de Luc zu einer ganz ähnlichen Konstruktion aus Zink und unechtem Goldpapier (Papier mit ausgewalztem Kupfer überzogen). Da de Luc aber ganz falsche Vorstellungen von der Bedeutung dieser Säule hatte, mußte erst Zamboni[1]), Professor der Physik in Verona, die Entdeckung noch einmal machen; er war es auch, der am ersten die Säule, wie es noch heute geschieht, aus Silber- und Goldpapier herstellte und in ihr 1000 Scheiben vereinigte. Diese Säule gab übrigens Funken bis zu $^1/_2$ Zoll Länge, chemisch war sie aber unwirksam. Um sie zu einem Elektroskop zu verwenden, machte er die Einrichtung ziemlich analog der von Behrens, nur daß er zwischen die Pole der beiden Säulen nicht einen Goldblattstreifen herabhängen ließ, sondern eine in horizontaler Lage nach Art der Deklinationsnadel aufgefangene Metallnadel anbrachte, sodaß das eine Ende gerade zwischen den Polen der Säule lag, zwischen welchen sie nun, wenn einmal in Schwingung gebracht, fortwährend hin und her pendelte. Das gab die Veranlassung, daß man versuchte, diese Vorrichtung zu einer immer gehenden, stets richtigen Uhr zu benutzen, selbstverständlich ohne Erfolg.

Zamboni entdeckte auch, daß es unnötig sei, zwei Metalle zu verwenden. Es gelang ihm auch Elektrizität zu erhalten, wenn er nur Scheiben von unechtem Silberpapier aufeinander legte, sodaß die Silberbelegung der einen Scheibe das Papier der vorhergehenden drückte. Die Elektrizität verdankt bei dieser Einrichtung dem verschiedenen Verhalten der Metallflächen gegen das Papier, welches mit der einen fest verleimt ist, von der anderen nur gedrückt wird, ihre Entstehung, ist aber wegen

---

1) Zamboni, Della pila elettrica a secco. Verona 1812. cf. Schweigger, Journal. X. pag. 129.

der geringen Verschiedenheit selbst sehr gering und wechselt oft die Polarität.

Noch später, 1816, fand Zamboni die seinen Namen tragende Säule, welche ebenfalls auf der Verschiedenheit der Berührungsflächen beruht[1]. Er verband von 30 mit destilliertem Wasser gefüllten Uhrgläsern je zwei aufeinanderfolgende durch Stanniolstreifen, welche die Form von $^1/_2$ Zoll Seite haltenden Quadraten hatten, die an der einen Seite in eine zwei bis drei Zoll lange Spitze fortgesetzt waren. In das eine Uhrglas tauchte das quadratische Ende des Stanniolstreifens, in das benachbarte die Spitze, während dieses mit dem folgenden ebenso verbunden war, wie das erste mit dem zweiten und so fort. Die Stanniolstreifen dürfen sich untereinander nicht berühren. Das quadratische Ende fand Zamboni +, die Spitze — elektrisch, dasselbe fand statt bei Zink, während Kupfer und Silber umgekehrt sich verhielten. Am wirksamsten von allen diesen Kombinationen zeigte sich jedoch die trockene Säule mit Papier, welche von der Behrensschen Kupfer-Zink mit Papier als Zwischenlage gar nicht verschieden ist, da das unechte Goldpapier aus Kupfer, das unechte Silberpapier aus Zinn und Zink besteht.[2]

131. Die Erfindung dieser trockenen Säulen, deren erste wohl von Biot 1803 konstruiert wurde aus Kupfer-Salpeter-Zink, machte den alten Streit zwischen der chemischen Erklärungsweise der Voltaschen Säule und der Anschauung, daß die Elektrizität nur durch den Kontakt bedingt sei, wieder lebhaft entflammen, und es schien sich der Sieg auf die Seite der Chemiker zu neigen, als Erman 1807 gezeigt hatte, daß eine sogenannte trockene Säule in der That nicht trocken sei, sondern daß der hygroskopische Zustand des Papiers bedinge, daß immer etwas Feuchtigkeit dabei mitwirke, indem eine Säule in einem Gefäße, in welchem die Luft durch Anwesenheit von Chlorcalcium ihrer Feuchtigkeit völlig beraubt war, ganz wirkungslos wurde, jedoch wieder Elektrizität zeigte, als die Papierstücke in gewöhnlicher Luft wieder Feuchtigkeit aufgenommen hatten. Im weiteren Verlauf giebt jedoch Erman

1) Gilbert, Annal. LX. 1818. pag. 170.

2) Über die von einer Zambonischen Säule gelieferte Elektrizitätsmenge, siehe: Riecke in Wiedemanns Annal. B. 20. 1883. pag. 512.

auch an, daß die Feuchtigkeit des Papiers eben nur die Leitungsfähigkeit erhöhe und damit die Möglichkeit gebe, die Elektrizität schnell an den Polen zu konzentrieren, während bei einer absolut trockenen Säule die Elektrizität wohl gefunden werde, aber sich erst langsam sammle, daher eine solche Säule zu physiologischen Wirkungen untauglich sei, dagegen am Elektroskop wohl eine Ladung nachweisbar entstehen lasse[1]).

So schien in der That eine wirklich trockene Säule nicht zu existieren, bis Jäger[2]) eine Säule herstellte aus Metallplattenpaaren, die durch Harzschichten, Taft oder Glas getrennt waren. Allein dieser Apparat hat doch sehr wenig mit der ursprünglichen Säule zu thun, er ist vielmehr eine Aneinanderreihung von Franklinschen Tafeln, wo die Elektrizität auf den Oberflächen des Glases durch die Berührung der Metallscheiben unter sich entsteht, von einem Strömen der Elektrizität durch die Säule ist hier gar nicht die Rede.

Später wurde auch nachgewiesen von Rieß[3]), daß die trockene Säule (die Behrenssche) auch die chemischen Wirkungen der Voltaschen Säule zeige, und von du Bois-Reymond, daß dieselbe auf die Magneten so wirke, wie ein gewöhnlicher Strom von den Elementen.

132. Für die Theorie war es auch nicht unwichtig, was Erman bereits bald nach Erfindung der Voltaschen Säule abgeleitet hatte. Erman verband nämlich die Pole einer Säule durch eine feuchte Hanfschnur und untersuchte die Elektrizität derselben durch zwei Elektroskope, die er längs derselben verschieben konnte, und konstatierte nun, daß die Dichtigkeit der Elektrizität von den Polen her bis zur Mitte abnimmt, daß wir es also bei dieser die Säule schließenden Leitung mit einer Vereinigung der an den Polen konzentrierten Elektrizität zu thun haben; während die chemischen Wirkungen überall, wo auch die Zersetzungzelle eingeschaltet wurde, stets die gleiche Stärke des Stromes gaben. Es fiel wohl auf, daß dies der spezifische Unterschied zwischen Reibungs- und Berührungs-

1) Gilbert, Annal. XXV. 1807. pag. 8 ff.
2) Gilbert, Annal. IL. 1815. pag. 52.
3) Rieß, Reibungselektrizität. II. pag. 58.

elektrizität sei, daß nämlich die statische Elektrizität an verschiedenen Punkten des Leiters verschieden starke Spannung oder Dichtigkeit besitze, während der Strom im ganzen Leitungskreise überall dieselbe Stärke aufweist, doch wurde diese Entdeckung nicht weiter verfolgt.

Erman hatte im Verfolg dieser Untersuchung auch das verschiedene Verhalten der Flamme bei Entladung der Voltaschen Säule durch dieselbe gefunden, daß nämlich die Flamme jeden Pol der Säule einzeln ableite, jedoch die negative Elektrizität zu isolieren scheine, die positive dagegen zu leiten, wenn man sie in den die beiden Pole der Säule verbindenden Leitungskreis bringe. Auf diese Entdeckung baute er sein höchst kompliziertes System der unipolaren Leiter auf, wofür er, wie schon oben erwähnt, von dem National-Institut den kleinen galvanischen Preis Napoleons erhielt. Biot und viele zollten diesem System Beifall, von andern wurde es umgeändert, so von Prechtl. Auch Becquerel und de la Rive hielten an der Einteilung in unipolare Leiter fest, bis endlich Ohm[1]) die ganze Theorie über den Haufen warf, durch den Nachweis, daß die Ursache dieser unipolaren Erscheinung in einer chemischen Wirkung des Stromes in dem Leiter zu suchen sei, und speziell die Flamme, eine selbständige Erzeugerin von Elektrizität, in ihren verschiedenen Teilen ein verschiedenes Verhalten gegenüber + oder – Elektrizität zeigen müsse. Später hat sich Becquerel in demselben Sinne ausgesprochen.

133. Die Theorie des Galvanismus selbst hat in diesem Zeitabschnitt eine durch alle Länder sich erstreckende Arbeit und experimentelle Untersuchung erfahren. Nachdem Galvani mit seinem Anhang durch Volta geschlagen war, hätte man erwarten sollen, daß die Physiker seiner so einfachen Anschauung ohne weiteres zugefallen wären, allein das trat nicht ein. Freilich die Ansichten von einer elektrischen Atmosphäre, welche die Körper umgebe, oder von einer im tierischen Organismus vorhandenen besonderen Flüssigkeit, welche Trägerin der Elektrizität sei, waren für alle Zeit, wenigstens bei wissenschaftlichen Leuten, zu Ende, und eine Arbeit, wie die Alexander v. Hum-

1) Schweigger, Journal. LIX. 1826. pag. 385, und LX. pag. 32.

boldts[1]), welcher den gesammten Lebensprozeß durch solche elektrische Thätigkeit abzuleiten bemüht war, konnte, in einzelnen Punkten freilich interessante Notizen bietend, auf einen weiteren Wert keinen Anspruch machen.

Der Voltaschen Kontakttheorie trat, wie ich schon erwähnte, die chemische gegenüber, welche ihre erste Begründung in Ritters höchst phantastischen Arbeiten erhielt, nüchterner aber von den Engländern, besonders von Davy, ausgearbeitet wurde. Als Biot[2]) nun durch Untersuchungen an der Coulombschen Drehwage durch möglichst genaue Messungen nachgewiesen hatte, daß, wenn auch ein Teil der Elektrizität vielleicht durch Oxydation erzeugt werde, die große Menge durch die Berührung der verschiedenen Metalle entstehe, waren die Anhänger der chemischen Theorie genötigt, ihre Ansichten in etwas zu modifizieren. Das that Davy 1806, indem er die heterogenen Metalle in ihrer Berührung eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes ausüben ließ, der gegenüber die chemischen Veränderungen bestrebt seien, dies Gleichgewicht wieder herzustellen. Geht man zum Beispiel von einem aus Zink-Kochsalzlösung-Kupfer bestehenden Element aus, so bewirkt die Berührung von Zink und Kupfer eine Trennung der Elektrizität, sodaß + auf dem Zink, — auf dem Kupfer an der Seite zur Flüssigkeit hin augehäuft werden. Jetzt tritt die chemische Aktion ein, indem die positiven Bestandtteile der Lösung, d. h. der Wasserstoff und das Alkali, von dem — Kupfer angezogen, die negativen Teile, d. h. der Sauerstoff und die Säure, zum + Metall, zum Zink eilen; diese zersetzten Elemente können aber nicht das Gleichgewicht wieder herstellen, da sich Zink mit Sauerstoff sofort zu Zinkoxyd verbindet, während die am — Kupfer befindlichen positiven Teile, welche sich mit dem Kupfer nicht verbinden können, hier eine schwächende Wirkung ausüben.

Dieser Theorie, welcher die von Dr. Jäger in Stuttgart ausgebildete ganz analog ist, stellte nun der schon früher erwähnte Pfaff, der bis an sein Lebensende der wärmste Ver-

1) Über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. 1797.
2) Gilbert, Annal. XVIII. 1804. p. 129.

elektrizität sei, d[illegible]schen Kontakttheorie geblieben ist, in seiner schiedenen Pun[illegible], daß die Ursache der Elektrizität auch in oder Dichtigke[illegible] Schema immer der Kontakt bliebe, daß die tungskreise üb[illegible]hemmungen nur sekundäre Wirkungen seien, die Entdeckung n[illegible]reten, allein in ihrer verschiedenen Stärke durch-

Erman [illegible] Maß seien für die verschieden starke Wirkungs- schiedene Vo[illegible]mentes. In der That sei ja vielmehr, je stärker Säule durc[illegible] Wirkung des Stromes im erzeugenden Elemente Pol der Sä[illegible]schwächer die Wirkung des Stromes außerhalb des- zu isolier[illegible] die vielen übrigen Theorien, welche der Kontakt- in den d[illegible]gegenübergestellt wurden, ist überflüssig einzugehen, da bringe. [illegible]rlos verschwunden sind, und da sie meist von philo- ziertes [illegible] Phantasien eingegeben, in der That auch kein schon [illegible] Schicksal verdienten. Mit **Pfaffs** Revision ist nun galvan[illegible] der Streit durchaus nicht entschieden und abgethan, diesem [illegible]den uns in einem späteren Abschnitt mit den anderen von P[illegible], z. B. der **Faradays** und **Schönbeins**, noch ein- der [illegible]d zu beschäftigen haben. Und noch heute stehen einzelne gan[illegible]cher auf Seiten der Chemiker, andere auf Seiten der Kon- die [illegible]-Elektriker, sodaß **Pfaff** im hohen Lebensalter nochmals W[illegible] Schwert zückte gegen die Chemiker. Zunächst können di[illegible] hiervon absehen.

134. Und nun am Schlusse dieses Abschnittes wollen wir wieder zurückkommen auf das, wovon die ganze Lehre des Galvanismus ausgegangen ist, auf die tierische Elektrizität. Auch hier haben wir wieder **Pfaff** als den hervorragendsten Forscher zu begrüßen, der entschieden wissenschaftlich verfuhr und sich dadurch vor fast allen Zeitgenossen auszeichnet, die in [illegible]weise völliger Unkenntnis des bis dahin bereits über Elek- [illegible]ität festgestellten die tollsten Ansichten über tierische Elek- [illegible]tät vortrugen und von ihr und ihrer Bedeutung für das Leben aller Individuen die übertriebensten Erwartungen hegten, sodaß **Lotze**[2]) mit Recht davon sagt: „So wenig als den Ein-

1) Revision und Kritik der bisher zur Erklärung der galvanischen Erscheinungen aufgestellten Theorien etc. 1814 in **Schweiggers** Journal. [illegible]

[illegible] Allgemeine Pathologie und Therapie als mechanische [illegible]en. Leipzig 1842.

fluß des Lichtes kennen wir den der Elektrizität, deren noch in vieler Verwirrung begriffene Theorie eine magische Anziehungskraft für ebenso verworrene Ärzte gehabt hat; die einzige Wirkung der Elektrizität, die erwiesen ist."

Man hatte am Frosch die Zuckungen gesehen, Galvani erklärte den Froschschenkel wie eine Leydener Flasche, warum sollten nicht alle Muskeln solche Flaschen und alle Nerven die zugehörigen Leiter sein? Besonders Ritter war in seiner überschwänglichen Art gleich zur vollständigen Theorie der Zuckungen übergegangen, hatte anatomische Unterschiede zwischen den zum Beugen und Strecken dienenden Muskeln zu statuieren sich erkühnt, und schließlich zeigte sich bei genauer Untersuchung, daß von alle dem fast nichts thatsächlich war, indem Weber in der Mechanik der Gehwerkzeuge zeigte, daß einzelne Muskeln gleichzeitig zum Beugen und Strecken dienen und sich im allgemeinen nur ein Unterschied in der Befestigung derselben an den Knochen zeigt. —

Wir schweigen von vermeintlichen Nachweisungen der Elektrizität an tierischen Körpern, wie sie Pallas 1811 noch gegeben zu haben glaubte, als er das Leuchten der Augen des Katzengeschlechts durch das elektrische Glühen des Gehirns erklären wollte, welches hier wie durch ein Fenster aus dem Kopfe hervorluge; wir schweigen von den elektrischen Damen, welche in Smyrna an einem Tische niedergesetzt in diesem ein Knacken und Knarren hervorriefen, wie von einer Schuhsohle etc., und empfehlen diese „merkwürdigen Erscheinungen" allen Jüngern des „spiritistischen" Sports unserer Tage zur Ansammlung von Zeugnissen aus der Geisterwelt.

Das einzig Wissenschaftliche findet sich in den von Pfaff[1]) angeordneten, von Ahrens ausgeführten Untersuchungen 1817. Die zu untersuchende Person saß auf einem Isolierschemel und berührte mit der Hand die Kollektorplatte eines Goldblattelektroskopes, während die Kondensatorplatte ableitend zur Erde berührt war. Nach kürzerer oder längerer Zeit der Berührung wurde diese aufgehoben, und nach Abheben des Kon-

1) Meckels Deutsches Archiv für die Physiologie 1817. Bd. III. pag. 161.

densators die Elektrizität, welche sich nun in der Divergenz der Goldblättchen zeigte, mit einer Glas- oder Siegellack-Stange untersucht. Dabei fand sich bei fast allen Menschen im gesunden Zustande positive Elektrizität, die jedoch äußerst schwach ist und nur bei leicht reizbaren Menschen etwas stärker erhalten wird, auch Abends stärker zu sein pflegt als am Tage, desgleichen bei wärmerer Haut größer als bei kalter. Desgleichen läßt sich durch Genuß von Spiritus oder durch sonstige die Blutzirkulation befördernde Mittel die erhaltene Spannungselektrizität vergrößern. Woher diese Elektrizität komme, lehrt Pfaff nicht, daß sie nicht wohl vom Reiben der Kleider auf den Körper kommen könne, scheinen seine Versuche an ganz nackten Menschen zu beweisen, aber es bleibt die Möglichkeit, daß die Elektrizität nach Ablegen der Kleider eben nicht völlig entladen war, was, wie du Bois-Reymond[1]) richtig sagt, zuverlässig nicht bewerkstelligt werden kann, da man einen Menschen doch nicht wie einen sonstigen festen Körper durch eine Flamme ziehen kann. Vielleicht sind auch die geringen Reibungen am lebenden Organismus stelbst die Ursachen dieser Ladung. Unter allen Umständen aber sind die Mengen der wirklich nachgewiesenen tierischen Elektrizität so gering, daß man damit gar nichts anfangen kann.

Erst in dem folgenden Zeitabschnitt haben wir uns wieder mit diesem Thema zu beschäftigen, wo Nolili, Matteucci und endlich du Bois-Reymond die Angelegenheit behandelt und gewissermaßen aus der Luft geschafft haben.

135. Wollte ich mich nun ausschließlich auf den experimentellen Teil beschränken, so könnte ich hiermit den Abschnitt schließen, allein es würde eine solche Beschränkung unrecht sein, indem Männer, die der Wissenschaft ganz hervorragende Dienste gethan haben, dabei mit Stillschweigen übergangen würden, während geringfügige experimentelle Leistungen genannt würden. Bei dem heutigen Standpunkt der Pkysik, wo die Wissenschaft erst anfängt, wenn die mathematische Bearbeitung beginnt, wäre es geradezu eine Unterlassungssünde,

---

1) E. du Bois-Reymond, Untersuchungen über tierische Elektrizität. I. pag. 16.

sie nicht wenigstens zu erwähnen. In diesem Zeitabschnitt aber, welchen ich bisher behandelte, finden wir die erste Arbeit, welche später und bis in unsere Tage das Vorbild und der Grundstein sehr vieler Abhandlungen geworden ist, auf die ich gleich hier verweisen möchte.

Im Jahre 1811 erschienen zwei längere Arbeiten Poissons[1]), des großen theoretischen Physikers und Mathematikers, „über die Verteilung der Elektrizität auf der Oberfläche von Leitern". Poisson war 1781 zu Pithiviers im Departement Loiret geboren, studierte von 1798 bis 1800 auf der polytechnischen Schule in Paris, wurde dann Repetent an derselben, 1802 Professor der Analyse und Mechanik ebendaselbst, 1815 Examinator und Professor der Mechanik am College de France, Mitglied des Längenbureaus und der Akademie und seit 1820 des Conseils des öffentlichen Unterrichts. Er starb 1840, nachdem er über 300 der wertvollsten Abhandlungen geschrieben hatte. Napoleon ehrte ihn durch den Baronetstitel.

Poissson geht aus von dem Coulombschen Gesetz, daß zwei elektrische Teilchen in der Entfernung r einander anziehen oder abstoßen proportional dem reziproken Quadrat der Entfernung r. Ferner stellt Poisson die experimentell bestätigte Forderung, daß die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche eines Leiters anordne, und daß die Resultante aller Wirkungen der elektrischen Teilchen der Oberfläche auf einen Punkt im Innern $= 0$ sei, und die Fläche selbst eine Gleichgewichtsfläche sei. Gauß[2]) hat gezeigt, daß die letztere Annahme genügt, damit auch die erstere erfüllt sei. Poisson geht bei seiner Berechnung von der berühmten Laplaceschen Gleichung aus, damit hat er sich ein wesentliches Verdienst um die Potentialtheorie erworben, wir werden uns später noch damit zu beschäftigen haben. Poisson berechnet nun die Potentialfunktion (wie wir heute sagen) der auf einer Kugel vorhandenen Elektrizitätsmenge auf einen beliebigen Punkt P, und ebenso von

---

1) Mém. de la classe de sciens. mathem. de l'Institut de France. 1811. pag. 1 ff. und pag. 163 ff.

2) Göttinger gelehrte Anzeigen 1840. pag. 491, besonders 493, und Resultate aus den Beobacht. d. magnet. Vereins 1839. p. 1—51.

einer zweiten Kugel. Jetzt soll P im Innern einer der beiden Kugeln liegen (zunächst auf der Centrale). Da muß die Potentialfunktion nach seiner Annahme, da die Elektrizität auf beiden Kugeln im Gleichgewicht sein soll, konstant sein, und die anfangs komplizierte Formel vereinfacht sich. Durch Betrachtung eines conjugierten Punktes in der zweiten Kugel, der so gewählt ist, daß das Produkt aus seinen Abständen von den Mittelpunkten beider Kugeln gleich dem Quadrat des Radius der zweiten Kugel ist und der ebenfalls auf der Centrale liegt, erhält er eine einfache Gleichung, welche es ihn ermöglicht, zunächst für den Fall der Berührung zweier Kugeln, die Dichtigkeiten der Elektrizität auf den Kugeln, deren Radien 1 und b sein mögen, zu berechnen. Dieselben seien respektive mit A und B bezeichnet, dann ist:

$$A = \frac{b \, . \, h}{1+b} \int\limits_{t=0}^{t=1} \frac{t^{-\frac{1}{1+b}} - 1}{1-t} \, . \, dt \quad \text{und} \quad B = \frac{h}{b\,(1+b)} \int\limits_{t=0}^{t=1} \frac{t^{-\frac{b}{1+b}} - 1}{1-t} \, .$$

wo h das Potential der gesamten Elektrizitätsmenge ist.

Das Verhältnis ist:

$$\frac{B}{A} = \frac{1}{b^2} + \frac{\pi \, . \, \mathrm{cotg} \, . \, \frac{\pi}{1+b}}{b^2 \int\limits_{t=0}^{t=1} \frac{t^{-\frac{1}{1+b}} - 1}{1-t} \, dt} \, .$$ [1]

Dies Verhältnis hat Coulomb experimentell bestimmt. Die Poissonsche Rechnung stimmt recht gut mit den experimentellen Werten Coulombs.

Ebenso berechnet Poisson die Dichtigkeiten in den dem Berührungspunkte diametral gegenüberliegenden Punkten der Kugelflächen und an verschiedenen Punkten der Kugeflächen. Stets finden die berechneten Werte eine Bestätigung in den beobachteten Coulombs. Poisson führt die Betrachtung nun auch durch für kompliziertere Verhältnisse, z. B. für zwei Kugeln, deren Entfernung in Bezug auf den kleineren Radius

1) Mém. de l'Inst. de France 1811. p. 59.

sehr groß ist, und 1) die eine Kugel ursprünglich unelektrisch ist, 2) beide elektrisiert sind, 3) beide ursprünglich in Berührung elektrisiert wurden. Endlich behandelt er auch einzelne konkrete Fälle, wo die Kugeln nahe bei einander sind, z. B. den, daß die Halbmesser der Kugeln und deren Centralen sich verhalten wie 1 : 3 : 5, und daß $B = 0{,}1206\,A$, oder $A = 0{,}3685\,B$ ist.

Die Behandlungsweise Poissons mit reziproken Radien wurde wesentlich benutzt und vervollkommnet durch Thomson, der auch von der Betrachtung konjugierter Punkte ausgeht und zu höchst einfachen Resultaten kommt, zunächst für die Wirkung eines isolierten elektrischen Punktes auf eine abgeleitete Kugel, dann für den Fall der Isolation der Kugel und endlich für die Wirkung einer Kugel auf eine zweite.

Murphy[1]) und Hankel[2]) führten eine andere Methode durch, die der successiven Influenzen für dieselbe Aufgabe der zwei Kugeln. Den neueren Forschern ist die Sache aber wesentlich leichter gemacht, wie es Poisson hatte, seitdem Green und Gauß die Potentialtheorie begründet haben, ich werde auf diese seinerzeit eingehen müssen, da dieselbe heutzutage die wichtigste Rolle spielt und mit dem Worte Potential vielfacher Unfug getrieben wird.

IV. Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus, von Oerstedt bis Nobili. 1820—1826.

Erstes Kapitel.

Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom und Magnetisierung durch denselben.

136. So kommen wir denn zu der Reihe von Untersuchungen, welche der heutigen Forschung die Überschrift gegeben haben, welche in schneller Aufeinanderfolge eine ganz neue Wissenschaft schufen und weder vorher noch nachher an

1) Element. Principles of the theories of Electricity. Cambridge 1833.

2) Abhandlungen der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch. III. 1857. pag. 44.

Bedeutung übertroffen worden sind. Der uns schon durch seine besondere Konstruktion einer Kette, sowie durch die Untersuchungen über Schmelzen und Glühen von Drähten durch den galvanischen Strom rühmlichst bekannte Oerstedt in Kopenhagen war es, welcher durch seine Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom diese wichtige Reihe eröffnete.

Schon früh fing man an einen Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus zu suchen, da die beiden Eigenschaften so gleichartige Verhältnisse zeigten. Wir haben früher gesehen, wie die durch den Entladungsfunken der Batterie beobachtete Magnetisierung von Stahlnadeln durch Franklin die Hoffnung zeitigte, endlich eine Brücke zu finden zwischen Elektrizität und Magnetismus, bis dann v. Marum alle Illusionen zerstörte durch den Nachweis, daß die Magnetisierung durchaus nicht von dem Entladungsfunken direkt geleistet werde, daß vielmehr dieser die Nadel nur erschüttere und die Magnetisierung durch den Erdmagnetismus ausgeübt werde. Der Wunsch, eine Beziehung zwischen Elektrizität und Magnetismus zu finden, wurde natürlich noch mehr rege, als Coulomb in seinem Gesetz der Anziehung und Abstoßung elektrischer Massen eine Formel gefunden, die der für die betreffenden Wirkungen zwischen magnetischen Massen durchaus gleich war.

Was war natürlicher, als daß seit Erfindung der Säule, wo ein konstantes Strömen der Elektrizität stattfand, im Gegensatz zu dem momentanen Strom des Entladungsfunken, auch der Gedanke aufstieg, zu versuchen hier einen Zusammenhang zu finden. Und in der That, ein so spekulativer Kopf, wie Ritter war, konnte sich dieses Gedankens nicht erwehren; leider hinderte ihn aber seine überschnelle Spekulation und seine Sucht, rastlos philosophische Schlußreihen, auf den geringsten Thatsächlichkeiten aufgebaut, ohne weitere Sorge um experimentelle Stützen zu Ende zu führen, auch nur ein Experiment zu machen, welches ihm den wahren Sachverhalt enthüllt hätte. Während Ritter die kühne Behauptung ausgesprochen, daß eine auf einem Achathütchen bewegliche Nadel aus zusammengelöteten Zink und Silber bereits eine vollständige Magnetnadel sei, hatten [illegible] durch Versuche einen Zusammenhang nachweisen wollen.

So fand v. Arnim 1801 ein in einem Schließungskreise längere Zeit eingeschaltetes Stück Eisen magnetisch; so fand Mojon in Genua die Eisendrähte, welche er zur Verbindung zweier Elemente benutzt hatte, magnetisch; so wollte Gautherot in Paris die Anziehung zweier als Leiter benutzter Klaviersaiten beobachtet haben, 1803, und endlich ist von Configliacchi, Libri und anderen einem italienischen Juristen, Romagnosi, die Entdeckung der Ablenkung der Magnetnadel im Jahre 1802 zugeschrieben worden, auf Grund einer Notiz im Giornale di Trento, allein wie eine Durchsicht der wörtlichen Übersetzung jener Stelle in Erlenmeyer und Levinsteins kritischer Zeitschrift für Chemie, Band II, 1859. pag. 242 ergiebt, ohne jeden Grund. Man kann im Gegenteil wohl behaupten, die früheren Versuche hatten gerade bewirkt, daß man den Experimenten, welche den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus enthüllen sollten, ziemlich skeptisch entgegentrat.

Oerstedts Entdeckung trat daher den meisten Physikern so unvermittelt auf, daß Gilbert z. B. glaubte, durch einen Zufall sei Oerstedt auf dies glänzende Resultat gekommen. Ja ich erinnere mich in meiner Jugend einmal ein Histörchen über diese Erfindung gelesen zu haben, welche die Gilbertsche Vermutung in ein recht artiges Gewand hüllte, danach sollte Oerstedt arglos in einer Vorlesung mit einem galvanischen Strom experimentiert haben, zufällig habe eine Magnetnadel in der Nähe sich auf einem Stativ aufgehängt befunden, und da habe Oerstedts Diener gesehen, wie die Nadel jedesmal beim Schließen des Stromes abgelenkt worden sei. Nach der Vorlesung habe er seinen Herrn dann mit seiner Entdeckung überrascht. Wer der Erfinder dieser Historie ist, weiß ich nicht mehr, thatsächlich ist wenig wahres daran.[1])

137. Oerstedt selbst berichtet über die Methode, durch welche er seine Entdeckung fand, gleichzeitig die Meinung

---

1) Ein 1874 in Berlin erschienenes anonymes Pamphlet, in welchem Schweigger für den Entdecker des Electromagnetismus ausgegeben wird, entbehrt jeder Grundlage, und verdient nicht berücksichtigt zu werden.

Gilberts von der Zufälligkeit seiner Entdeckung ausdrücklich widerlegend[1]). Er zeigt, wie er schon im Jahre 1806 sich eine Ansicht von dem galvanischen Strom als einer fortgesetzten Störung und Wiederherstellung des elektrischen Gleichgewichtes gebildet habe, die ihn auf die Vermutung getrieben, daß die Elektrizität beim Durchströmen eines Leiters noch andere als die bisher beobachteten Wirkungen ausüben könne, ja, daß die in der Elektrizität vorhandenen Kräfte als die allgemeinen Naturkräfte anzusehen seien. Das trieb ihn 1812 zu der Vermutung, daß „die elektrischen Kräfte in einem von den Zuständen, wo sie sehr gebunden vorkommen, einige Wirkungen auf den Magnet als Magnet hervorbringen könnten“[2]). Diese Worte schrieb Oerstedt auf einer Reise, wurde dadurch verhindert die Sache gleich experimentell zu untersuchen, er dachte damals also an die Wirkung einer Entladung von einer starken Batterie. Erst die Vorlesungen, welche er im Frühling 1820 zu Kopenhagen über Elektrizität, Galvanismus und Magnetismus zu halten hatte, brachten ihn wieder auf diese Gedanken, die sich bald so klar entwickelten, daß er sich entschloß, die Versuche anzustellen. „Die Vorbereitungen zu den Versuchen waren an einem Tage gemacht, wo ich des Abends eine von den Vorlesungen zu halten hatte,“ fährt Oerstedt fort. „Ich zeigte darin Cantons Versuch über den Einfluß chemischer Wirkungen auf den magnetischen Zustand des Eisens, ich machte auf die Veränderungen der Magnetnadel während eines Gewitters aufmerksam, und ich trug zugleich die Vermutung vor, daß eine elektrische Entladung auf eine Magnetnadel außer der Kette wirken könne. Ich entschloß mich nun den Versuch zu machen. Da ich von der mit Glühen vergesellschafteten Entladung das meiste erwartete, wurde ein sehr feiner Platindraht in die Kette da eingeschaltet, wo die Nadel untergestellt wurde. Die Wirkung war zwar unverkennbar, aber doch so verworren, daß ich die weitere Untersuchung auf eine Zeit verschob, wo ich mehr Muße zu haben hoffte. Im Anfang des Monats Juli wurden diese Versuche wieder aufgenommen und

---

1) Schweigger, Journal. XXXII, 1821. pag. 202, Note.
Ansichten der chemischen Naturgesetze. Berlin 1812. pag 251.

unausgesetzt verfolgt, bis ich zu den bekannt gemachten Resultaten kam.“

Die Versuche stellte Oerstedt entweder allein an, oder in Gemeinschaft mit seinem Freunde Esmarch, wobei dann noch fünf andere Herren zu Zeugen geladen waren, Physiker, Chemiker und Ärzte, alle Versuche aber, auch die, welche er anfänglich allein angestellt hatte, führte er schließlich diesen Herren vor. Das Resultat machte er in einer lateinischen Schrift bekannt, woraus ich einige der wichtigsten Stellen im Original unten angebe[1]). Die Abhandlung trägt das

1) Schweiggers Journal. XXIX, 1820. pag. 275 ff. Der Titel lautet: Experimenta circa effectum conflictus electrici in Acum magneticam. pag. 277: Ponatur pars rectilinea hujus fili (des Schließungsdrahtes der Kette) in situ horizontali super acum magneticam rite suspensam, eique parallela . . . . acus magnetica morabitur, et quidem sub ea fili conjungentis parte, quae electricitatem proxime a termino negativo apparatus galvanici accipit, occidentem versus declinabit. Si distancia fili conjungentis ab acu magnetica $^3/_4$ pallices non excedit, declinatio acus angulum circiter 45° efficit. Si distantia augetur anguli decrescunt, ut crescunt distantiae. Caeterum declinatio pro efficacia apparatus varia est. pag. 278: Si filum conjungens in plano horizontali sub acu magnetica ponitur, omnes effectus idem sunt ac in plano super acum, tantummodo in directione inversa. Acus enim magneticae polus, sub quo ea est fili conjungentis pars, quae electricitatem proxime a termino negativo apparatus galvanici accipit, orientem versus declinabit. — Ut facilius haec memoria retineantur, hac formula utamur: Polus super quem intrat electricitas negativa ad occidentem, infra quem ad orientem vertitur. — Si filum conjungens in plano horizontali ita vertitur, ut cum meridiano magnetico angulum sensim sensimque crescentem formet, declinatio acus magneticae augetur. pag. 279: Si filum conjungens perpendiculare ad planum meridiani magnetici, vel supra vel infra acum ponitur, haec in quiete permanet; excepto si filum sit polo admodum propinquum: tum enim elevatur polus, quando introitus fit a parte occidentali fili, et deprimitur quando ab orientali fit. — pag. 280: Acus ex orichalco (Messing), ad instar acus magneticae suspensa, effectu fili conjungentis non movetur. Etiam acus ex vitro, vel ex sic dicto gummi lacca, simili experimento subjectae in quiete manent. . . . . Conflictus electricus non nisi in particulas magneticas materiae agere valet. Videntur omnia corpora non magnetica per conflictum electricum penetrabilia esse; magnetica vero, aut potius particulae eorum magneticae transitui hujus conflictus resistere, quo fit, ut impetu virium certantium moveri possint. — Conflictum electricum in conductore non includi, sed, ut jam diximus, simul in spatio circumjacente idque satis late dispergi, ex observationibus jam propositis satis patet.

Datum des 21. Juli 1820. Als Stromquelle benutzte Oerstedt 20 seiner Becherapparate von 12 Zoll Länge und Höhe und $2^1/_2$ Zoll Breite aus Kupfer, welche mit Wasser, das durch $^1/_{60}$ Schwefelsäure und ebensoviel Salzsäure angesäuert war, angefüllt waren; dahinein tauchte er das Zink. Diese hintereinander eingeschalteten Elemente wurden durch einen Metalldraht geschlossen, welcher in einem recht gerade gebogenen Teile entweder oberhalb oder unterhalb einer aufgehängten Magnetnadel parallel derselben geführt wurde. Dann wurde, wenn die Nadel sich unterhalb befand und die negative Elektrizität über dem Südpol eintrat, der Südpol der Nadel nach Osten abgelenkt, war aber die Nadel oberhalb, so fand die Ablenkung nach entgegengesetzter Seite statt. Der Erfolg war unabhängig von der Art des Leiters und unabhängig von der Art der Aufhängung der Nadel, sowie von dem Medium, in welchem die Nadel sich bewegte. Die Ablenkung war ihrer Größe nach abhängig von der Nähe des Drahtes und von der Oberfläche der Metalle in den Elementen, d. h. von der Stromstärke. Oerstedt variierte die Lage des Drahtes, lag derselbe in derselben Horizontalebene wie die Nadel, so erfolgte eine geringe Erhebung des Südpols in der ersten Stromrichtung, eine geringe Senkung in der zweiten; befand sich der Draht senkrecht zur Schwingungsebene der Nadel, so erfolgte gar keine Ablenkung, außer wenn der Draht sich einem Pol sehr näherte, wo dann, je nach der Richtung des Stromes, bald eine geringe Erhebung, bald eine geringe Senkung eintrat. Die Wirkung wird nicht gehindert durch irgend ein zwischen die Nadel und den Draht gebrachtes Objekt, wenn dasselbe nur nicht selbst magnetisch werden kann. Zum Schluß wünscht Oerstedt daß die Physiker sich experimentell von der Wahrheit seiner Beobachtung überzeugen möchten. Das ist kurz der wesentlichste Inhalt dieser ersten, wichtigen Abhandlung, die nur sechs Seiten füllt.

138. Diese Abhandlung sandte Oerstedt direkt an die namhaftesten Physiker und die gelehrten Gesellschaften, daraus erklärt sich, daß unmittelbar nachher an allen Orten die Versuche wiederholt wurden und viele Gelehrte neues beizubringen imstande waren. Die nächsten wichtigen Erörterungen machte

Oerstedt jedoch selbst, indem er bald nachher eine deutsche Abhandlung in Schweiggers Journal veröffentlichte[1]). Oerstedt hatte bis dahin angenommen, es gehöre, um diese Ablenkungsbeobachtungen zu machen, eine Batterie dazu, die imstande sei einen Draht glühend zu machen, er überzeugte sich nun, daß man eine Ablenkung erhält durch einen einzigen „galvanischen Bogen“ aus Kupfer, Zink und angesäuertem Wasser, wie er es auch früher angewandt hatte. Er unterscheidet richtig die Strömungsrichtung im schließenden Drahte von der in der Flüssigkeit im Element. Auch ist Oerstedt in dieser Abhandlung so glücklich, die Bewegung eines Stromkreises durch feste Magnete beobachtet zu haben, Freilich ist die Form eine etwas ungeschickte, allein das Prinzip ist von Oerstedt gegeben und nicht von Ampère.

Oerstedt hängt ein kleines Element aus Kupfergefäß mit isoliert darin befestigter Zinkplatte und hineingegossener Flüssigkeit bestehend an einer Hanfschnur beweglich auf, verbindet durch einen Messingbügel die Pole und läßt nun auf diese Vorrichtung einen festen kräftigen Magneten wirken, wodurch der Apparat sich in Bewegung setzt und sich dem Abstoßungsgesetz entsprechend dreht. Als Abänderung giebt er eine Vorrichtung an, bei welcher die Platten Zn. und Cu. in Spiralen gebogen in der Flüssigkeit frei beweglich sind, das Gefäß also nicht mit bewegt wird, und erhält so größere Be-

---

1) Schweigger, Journal, XXIX. pag. 364. 1820. Es scheint diese Abhandlung den heutigen Physikern fast ganz aus dem Gedächtnis gekommen zu sein, ich finde sie nirgend erwähnt. Seyffer in seiner „Geschichtlichen Darstellung des Galvanismus“ giebt Schweigger und Erman als Erfinder eines solchen Apparates an und beschreibt Ermans Vorrichtung, die der ersten von Oerstedt gegebenen genau entspricht, nur daß an die Stelle des Oerstedtschen Kupfers bei Erman Silber tritt und die Dimensionen geringer sind. Auch ist Oerstedts Versuch früher wie der von Ampère, der im Text beschrieben ist, denn das betreffende Heft von Schweiggers Journal ist im August 1820 ausgegeben. Ampères Untersuchung fällt aber in den Herbst desselben Jahres, während Erman und Schweigger erst 1821 hervortraten. Oerstedt ist daher in allen mir bekannten Büchern durchaus ungerecht behandelt und hat bedeutendere Verdienste, wie man nach dem Studium der Lehrbücher und Kompendien meinen sollte.

weglichkeit, aber fügt hinzu, daß dieselbe doch nicht so groß sei, daß der Apparat sich schon unter dem Einfluß des Erdmagnetismus normal einstelle, dazu gehöre unstreitig eine noch größere Beweglichkeit. Diese größere Beweglichkeit ist es allein, welche man den späteren Apparaten von Erman und von dem Generalarzt Raschig in Dresden als Vorzug zusprechen muß; denn wenn Raschig einen kleinen silbernen Fingerhut mit Schwefelsäure gefüllt an einen feinen Draht befestigte, den er auf eine Federspule wickelte und dessen anderes Ende er mit einer kleinen Zinkplatte verband, die in die Schwefelsäure hineinragte, und dann diesen ganzen Apparat leicht beweglich aufhing, so war das nichts Neues, es war Oerstedts Versuch en miniature.

139. Noch in einer anderen Beziehung ist diese Arbeit Oerstedts wichtig. Seyffer giebt an, die ersten Untersuchungen über die Abhängigkeit der magnetischen Wirkung von der Stromstärke sei von Schweigger, von Klein, Bechstein und Erman gemacht, auch dies ist falsch. Oerstedt fand, daß die Wirkung sich in dem Maße der Vergrößerung der Plattenoberfläche vermehre, sodaß ein Plattenpaar von sechs Quadratzoll Oberfläche schon eine große Wirkung auf die Nadel ausübe, daß aber eine Platte von 100 Quadratzoll Oberfläche so stark würde, daß der Strom noch in einer Entfernung von drei Fuß die Nadel deutlich ablenke, daß dagegen eine Vermehrung der Elemente dadurch unwirksam werde, daß die leitende Kraft in den Elementen geringer werde. Will man etwas hyperbolisch urteilen, so wird man in diesem Satze bereits die Trennung von äußerem und innerem Leitungswiderstand finden und den richtigen Unterschied bei der Verstärkung des Stromes, ob die Elemente neben- oder hintereinander eingeschaltet sind. — Jedenfalls hat Oerstedt die Sache richtig angegeben, wenn auch sein vorausgeschickter Ausspruch des Gesetzes nach unserem Gebrauche der Worte falsch ist. Er sagt: die elektro-magnetischen Wirkungen scheinen nicht von der Intensität der Elektrizität abzuhängen, sondern bloß von ihrer Quantität. Diese Unrichtigkeit ist aber nur eine scheinbare, denn Oerstedt gebraucht Intensität und Quantität überhaupt stets in dem entgegengesetzten Sinne wie wir, was

freilich nicht zu rechtfertigen ist, doch kann man Oerstedt diesen einen scheinbar falschen Satz wohl verzeihen, da seine Experimente sämmtlich richtig und auch die Folgerungen daraus richtig gezogen sind.

140. Oerstedt galt auch allgemein unter den damaligen Physikern als einer der größten, er war 1777 zu Rudkjöbing auf Langeland geboren, und wurde zunächst Pharmazeut; 1799 promovierte er zu Kopenhagen, wurde 1800 Adjunkt und 1806 Professor extraord. zu Kopenhagen, 1817 wurde er zum ordentlichen Professor der Physik befördert, und hielt von da an auch Vorlesungen für ein größeres Publikum, die von Professoren und Gelehrten besucht wurden. Schon vorher hatte man ihn zum Mitgliede (1809) und dann zum ständigen Sekretär der königlich dänischen Gesellschaft der Wissenschaften (1815) gewählt. Hier trat er in intime Freundschaftsbeziehungen zu Esmarch, Hauck und Jacobsen, welche seinen Versuchen beiwohnten. Neben seiner Professur hatte er noch die Vorlesungen über Physik und Chemie am Landkadettenkorps und am Militärinstitut zu halten, und wurde schließlich Direktor der Polytechnischen Schule 1829. Trotz dieser vielen Berufsgeschäfte ist Oerstedt publizistisch sehr fruchtbar gewesen, seine meisten Versuche sind freilich der Chemie gewidmet, wenigstens zu Anfang seiner Thätigkeit, doch war er auch hier stets bestrebt, die alten Vorstellungen zu durchbrechen, wenngleich seine geistreichen Kombinationen über die in der Chemie wirkenden Kräfte etwas zu spekulativ waren. Daneben unternahm Oerstedt viele Reisen ins Ausland und trat so mit allen berühmteren Forschern in persönlichen Verkehr. Erst 1842 wählte man ihn zum auswärtigen Mitgliede der Pariser Akademie, die es sich zur Ehre rechnete, alle berühmten Leute zu den ihren zählen zu können. Noch ein Jahr vor seinem Tode erschien eine tüchtige wissenschaftliche Arbeit von ihm, und gehört er zu den seltenen Männern, die bis ins höchste Alter hinein geistig frisch und rege sind. Er starb in Kopenhagen 1851.

141. Durch die direkte Versendung der lateinischen Abhandlung war, wie schon gesagt, die Kunde von der neuen Entdeckung schneller wie je eine durch die Welt gedrungen, und bei der Wichtigkeit der Sache, sowie der Einfachheit der anzuwen-

denden Apparate ist es nicht zu verwundern, wenn fast gleichzeitig an allen Orten die Versuche wiederholt, die Thatsachen bestätigt und längere oder kürzere Abhandlungen über diesen Gegenstand unter die Presse befördert wurden. Es wäre eine nutzlose Mühe alle die Arbeiten aufzuzählen, geschweige denn sie einzeln durchzugehen; in den meisten ist etwas wirklich Neues nicht enthalten, höchstens geringe Abänderungen; die Bände fast sämtlicher Journale aus dem Schlusse des Jahres 1820 und zu Anfang 21 sind mit ihnen angefüllt. Ich nenne nur einige Namen. Zuerst erfolgte die Bestätigung durch J. Mayer, Professor in Göttingen[1]), de la Rive[2]) in Genf bei Gelegenheit der dortigen Naturforscherversammlung, Schweigger[3]), den Herausgeber des Journals, Gilbert in seinen Annalen[4]) und vielen andern. Am wichtigsten von allen Arbeiten sind die von Ampère, Arago, Biot, auf welche ich gleich eingehen werde, während von den Deutschen Seebeck und Erman zu nennen sind, ihre Arbeiten stehen aber an Wert weit hinter Ampère zurück und sind auch später erschienen.

142. Die Kunde von Oerstedts Entdeckung brachte Arago von der Naturforscherversammlung in Genf mit nach Paris und setzte sich nun mit seinem Freunde Gay-Lussac, mit welchem er die Annales herausgab, sofort an die Arbeit. Das Resultat[5]) dieser war die Entdeckung, daß der Strom nicht nur ablenke, sondern auch magnetisiere. In die Axe einer Drahtspirale, durch welche eine galvanische Kette geschlossen wurde, schoben sie eine Stahlnadel ein und ließen den Strom eine Zeitlang geschlossen; beim Herausnehmen der Nadel fanden sie diese selbst magnetisch. Sie faßten nun den Schließungsdraht selbst als Magneten auf und entdeckten als Bestätigung dieser Vermutung, daß der Leitungsdraht Eisenfeilspäne anzog. Diese Anziehung zeigte sich sogar, als sie statt des ursprünglich angewandten Eisendrahtes Kupfer oder Platin zur

1) Göttinger gelehrte Anzeigen 1820.
2) Bibl. universelle XIV.
3) Schweigger, Journ. XXXI.
4) Gilbert, Annal. LXVI.
5) Annales de Chimie et de Physique XV. pag. 93; vergl. auch

Schließung gebrauchten, es schien ihnen dadurch der „magnetische Charakter“ des Schließungsdrahtes außer Zweifel gesetzt zu sein, allein die Vorstellungen waren nicht ganz klar, die sie von diesem magnetischen Charakter hatten. Sie sind damit die Vorgänger Seebecks gewesen, welcher aber selbständig diese Untersuchungen anstellte in der Zeit von Anfang September bis Ende November 1820, und am 14. Dezember desselben Jahres der Akademie darüber Vortrag hielt.[1])

Seebeck magnetisierte eine Stahlnadel dadurch, daß er sie auf einem im magnetischen Meridian liegenden, von einem Strome durchflossenen Kupferdrahte strich; erfolgte das Streichen von Ost nach West, so war der Pol im zuletzt gestrichenen Ende Südpol, in umgekehrter Richtung Nordpol. Dieselbe Umkehrung trat ein, wenn er unterhalb des Drahtes strich statt oberhalb, und wieder eine Umkehr, wenn er die Stromrichtung änderte. Seebeck faßte den Draht mit dem Strome deshalb direkt als Magneten auf und nennt ihn einen elektrisch-chemischen Magneten. Daran schließt er dann eine wunderbare Theorie von magnetischer Atmosphäre, welche den Stab erfülle und umgebe. Er findet ebenfalls die Anziehung der Eisenfeilspäne, und deutet einen Satz über die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel an, welchen er so angiebt: „Die Intensität des Magnetismus steht in umgekehrtem Verhältnis des Abstandes von der Axe des Stabes“, giebt aber gleich dabei an, daß er die Art des Verhältnisses nicht kenne. Bei Biot werden wir darauf zurückkommen. Seine Ansicht über magnetische Atmosphären ist wohl hauptsächlich durch seine falsch verstandenen Versuche über die Ablenkung der Deklinations- und Inklinationsnadel durch den Strom entstanden. Die Regel der Ablenkung selbst giebt er in folgendem Satze, wo die Kette selbst als Magnet aufgefaßt ist: „Der Nordpol der einfachen geschlossenen Kette ist nach Norden, der Südpol nach Süden gerichtet, wenn die Kette unterliegend, das + elektrische Metall (Zink) sich im Osten und

---

1) Abhandlungen der königl. Akademie der Wissenschaft. z. Berlin 1820—21. pag. 289—346. Im Auszuge in Schweiggers Journal XXXII. 1821. pag. 27.

das — elektrische (Kupfer) im Westen befindet." Es wirkt dann dieser Stromkreis gerade so wie der durch diese Regel bestimmte Magnet. Im folgenden Jahre war Seebeck glücklicher, wir werden dann uns mit seiner Entdeckung des Thermostromes zu befassen haben.

143. Thomas Johann Seebeck war 1770 in Reval geboren und widmete sich dem Studium der Medizin und Naturwissenschaften, erst 1802 promovierte er in Göttingen und lebte dann acht Jahre als Privatmann in Jena, von wo er nach Bayreuth und Nürnberg übersiedelte, um 1818 nach Berlin zu gehen, wo er Mitglied der Akademie wurde. Schon im Jahre 1810 hatte er sich mit Magnetismus beschäftigt, indem er Kobalt und Nickel als analog magnetisch nachwies wie das Eisen; mit elektrischen Versuchen befaßte er sich erst seit 1820, blieb aber dem Gebiete treu und hinterließ bei seinem 1831 erfolgten Tode acht noch ungedruckte fertige Abhandlungen über Magnetismus und Elektrizität. In seinen früheren Jahren hatte er sich besonders mit Optik beschäftigt.

144. Der Berliner Kollege Seebecks, der uns schon bekannte Erman, veröffentlichte im Mai 1821 eine Monographie über den elektrochemischen Magnetismus[1]), worin er besonders der Theorie viel Platz gönnt, allein diese theoretischen Betrachtungen befinden sich so ganz im Banne seiner Anschauungen über Polarität der Leiter der Elektrizität, daß dieselben heutzutage keinen Wert mehr haben. Er glaubte, daß die von ihm an metallenen Schließungsbögen der Elemente vergeblich gesuchte elektrische Spannung sich in magnetische Polarität umgesetzt habe, und wollte diese nun gar berechnen. Bedeutend wichtiger sind die experimentellen Thatsachen, die leider nur sehr sporadisch in der Arbeit sind. Vor allem sei erwähnt, daß es ihm nicht gelungen ist mit der Zambonischen Säule aus Silber- und Goldpapier mit 12000 Schichten eine Ablenkung der Magnetnadel zu erhalten, obgleich dieselbe soviel Spannungselektrizität entwickelte, daß die Blätter eines gewöhnlichen

---

1) Umrisse zu den physischen Verhältnissen des etc. electrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. Im Auszuge in Schweiggers Journal XXXII. pag. 38.

Goldblattelektroskopes sofort gegen die Wandungen schlugen.[1]) Das Wichtigste in der Arbeit ist der Nachtrag, wo Erman Kunde giebt von dem sogenannten „Kondensator" des Magnetismus, den wir heutzutage den Multiplikator nennen, wegen der Art seiner Wirkung. Diese Erscheinung hat aber nicht er, sondern Poggendorff gemacht, der damals noch Ermans Zuhörer gewesen zu sein scheint, denn Erman nennt ihn „die Zierde der Hörsäle und des Laboratoriums der Universität". Poggendorff tritt hier zum erstenmale auf.

145. Die Einrichtung dieses Poggendorffschen Multiplikators ist wenig verschieden von dem schon im Jahre 1820 am 13. September in der Naturforschenden Gesellschaft in Halle von Schweigger vorgeführten Apparate, worüber in der Allgem. Litterat. Zeitung Nr. 296, Nov. 1820 berichtet ist. Das wesentliche beider Apparate besteht darin, statt einen einzigen Leitungsdraht auf die Magnetnadel wirken zu lassen, indem man denselben darüber oder darunter hält, eine Reihe von Windungen zu nehmen. Es wurde zu dem Zweck ein Leitungsdraht mit Seide übersponnen und mit Wachs überzogen, um ihn vor direkter metallischer Berührung von der Seite her zu schützen, dieser wurde nun über einem elliptischen Cylinder aufgewickelt, dann der Cylinder weggenommen, so blieb eine Drahtrolle, welche in ihrer Mitte einen elliptisch geformten freien Raum ließ. Stellte man nun die Drahtrolle so auf, daß die Windungsebene vertikal stand und brachte in die Mitte der Windungen eine Kompaßnadel, so wirkte der den obern Teil der Windungen in einer bestimmten Richtung durchlaufende Strom in demselben Sinne ablenkend auf die Nadel wie der nach entgegengesetzter Seite gerichtete Strom in dem unteren Teile der Windungen, da in Bezug auf den oberen Teil des Drahtes die Nadel unterwärts, in Bezug auf den unteren oberhalb liegt, also von gleichgerichteten Strömen entgegengesetzt, von entgegengesetzten aber gleich abgelenkt wird. Dadurch wird die Wirkung nun sehr erheblich gesteigert, allein das

---

1) Eine ausführliche Messung über die von einer Zambonischen Säule gelieferten Elektrizität siehe bei Riecke in Wiedemanns Annal. XX. 1883. p. 512. Siehe auch das p. 181 und 183 Gesagte.

Gesetz des Multiplikators haben beide nicht gefunden, sie machten auf diese Weise die Verschiedenheit der Stromstärke sichtbar bei geringen Unterschieden in der Konzentration der Flüssigkeit des Elementes, selbst die schwächsten Davyschen Ketten von Säuren und Basen ließen Ausschläge erkennen, so nannte Erman den Apparat mit Recht ein sehr empfindliches „Galvanoskop“, aber bemerkt, ein Galvanometer werde erst daraus, wenn man das Gesetz kenne, in welchem die Konzentration die Stromstärke beeinflusse. Er hoffte damit ein bequemes Mittel für den Chemiker zu haben, den Prozentgehalt einer Flüssigkeit zu bestimmen.

Schweigger[1]) konstruierte noch andere Abarten dieser Multiplikatoren, besonders eine möchte ich erwähnen, welche später in anderer Form eine bedeutende Rolle spielte, und sich noch heute in allen physikalischen Sammlungen findet. Schweigger brachte einen übersponnenen Draht in die Form einer liegenden 8 und ließ den Strom in folgender Form durchlaufen ∞, dann wirkt die eine Seite auf denselben Magnetpol entgegengesetzt wie die andere, und umgekehrt wird die eine Seite vom Nordpol eines festen Magnetpols angezogen, die andere dagegen von ihm abgestoßen, während sie vom Südpole angezogen wird. Wir benutzen diese Schleifenform in mehrfacher Umwickelung, um den Einfluß des Erdmagnetismus zu zeigen, indem eine solche Schleife freibeweglich aufgehangen sich von selbst in den magnetischen Meridian stellt, ein Versuch, der bei den gewöhnlichen Ampèreschen Gestellen freilich einen sehr starken Strom erfordert.

146. Seebeck hat bereits mit den Schweiggerschen Apparaten gearbeitet und wendet den Namen Multiplikatoren an, giebt auch den richtigen Satz an[2]), daß die magnetische Wirkung (der Magnetismus) der Spirale nur deswegen erhöht sei, weil alle Teile des durch dieselbe fließenden Stromes in gleichem Sinne wirken, daß aber die größere Länge des Drahtes schwächend wirke bei gleicher Dicke, und daß zu dünne Drähte einen zu großen Widerstand besitzen. Desgleichen, daß in

---

1) Schweigger, Journ. B. 32. pag. 47.

2) Abhandlungen der königl. Akad. zu Berlin 1820—21. pag. 320.

Spiralen von gleichen Durchmessern die magnetischen Kräfte (Spannungen) im umgekehrten Verhältnis der Längen stehen.[1])

Es ist das für den metallischen Schließungsdraht dasselbe Resultat, welches schon Oerstedt, wie erwähnt, für die Elemente abgeleitet hatte, daß nämlich durch Vermehrung der Anzahl nichts geleistet werde, sondern durch Vergrößerung der Oberfläche. Am ausführlichsten wurden diese Beobachtungen von Schmidt wiederholt und bestätigt.[2]) Schmidt hatte drei Kasten mit Elementen, einer lieferte 17° Ablenkung der Nadel. Alle drei hintereinander eingeschaltet, d. h. so, daß die Kupferplatte des ersten Elementes mit der Zinkplatte des zweiten etc. verbunden war, gaben eine Ablenkung von nur 20° im Maximum, schaltete er sie dagegen nebeneinander ein, d. h. so, daß alle Kupferplatten zu einer, und alle Zinkplatten zu einer zweiten Platte verbunden waren, so erhielt er bei zwei Kasten 31°, bei drei Kasten 50° Ablenkung. Von einer großen Zahl Beobachter wurden diese Versuche bestätigt.

147. Der mehrfach erwähnte Erman hat sich auch hiermit beschäftigt, wie er überhaupt vielfach die Experimente andrer bestätigend wiederholte. Er war 1764 in Berlin geboren und hat Zeit seines Lebens nur in Berlin gewohnt. 1791 wurde er daselbst Lehrer an der Kriegsschule, dann 1809 ordentl. Professor an der Universität. Seit 1806 war er Mitglied der Akademie, deren Sekretär in der physikalischen Abteilung er von 1810—1841 war. Noch zehn Jahre nach seiner Amtsniederlegung lebte er zu Berlin, bis er 1851 starb. Seine Vorfahren waren übrigens nicht aus Berlin, sondern stammen aus Mülhausen im Elsaß und hießen dort Ermendinger.

Zweites Kapitel.

Ampères Entdeckungen und analoge Beobachtungen.

148. Alle Nachfolger Oerstedts, ja ihn selbst übertrifft bei weitem Ampère, der kaum von Arago mit den Oerstedtschen

---

1) Abhandlungen der königl. Akad. zu Berlin 1820—21. pag. 324.
2) Gilbert, Annal. LXX. 1822. pag. 230.

Versuchen bekannt gemacht, sich sofort an die Arbeit setzte und in der Zeit vom 18. September bis 2. November 1820 ging fast keine Sitzung der Pariser Akademie hin, wo Ampère nicht neue Versuche demonstrieren konnte. Seine darauf am 2. Oktober vorgelegte Arbeit[1]) übertrifft alle früheren Veröffentlichungen so sehr an Klarheit, daß man am besten thäte, dieselbe einfach zu übersetzen, wenn es der Raum gestattete.

Zunächst präcisiert er die elektromotorische Wirksamkeit als eine zweifache, erstens die elektrische Spannung, zweitens der elektrische Strom. Die elektrische Spannung kann an Leitern und Nichtleitern, der elektrische Strom nur an Leitern beobachtet werden; letzterer entsteht bei Berührung zweier aufeinander wirkender, in einem geschlossenen Leiterkreise sich berührender Leiter; er zieht nicht, wie die Spannungselektrizität, leichte Körper an, ist am Elektrometer nicht meßbar, zeigt sich aber in der chemischen Wirkung, sowie in der Ablenkung der Nadel. Er beschreibt nun die Entstehung der Spannungselektrizität, wie die der strömenden, welch letzterer Zustand so lange andauert, als die in der Berührung elektromotorisch wirksamen Leiter noch durch einen dritten Leiter, der zu ihnen keinen entgegengesetzt gleichen Spannungsunterschied besitzt, verbunden sind. In dieser Verbindung findet dann von beiden Seiten ein Strömen der Elektrizität statt, von der einen positive, von der andern negative. Man muß also zwei Richtungen unterscheiden. Als Richtung des Stromes führt Ampère nun die der strömenden positiven Elektrizität ein, was heute allgemein adoptiert ist; danach bestimmt sich die Richtung des Stromes im Element entgegengesetzt der in der äußeren Leitung. Im dritten Abschnitt giebt er dann die berühmte Ampèresche Regel, welche Oerstedts Bestimmung völlig verdrängt hat, weil sie so naturgemäß und einfach ist:

> man denke sich in den elektrischen Strom versetzt, sodaß dessen Richtung von den Füßen zum Kopfe gehe und man habe das Gesicht der Nadel zugekehrt, so ist die Ablenkung stets durch die ausge-

---

…es de Chimie et de Physique, XV, 1820, pag. 59 und 170.

streckte Linke gegeben für den Pol der Nadel, welcher nach Norden zeigt[1]),

den nennt er, wie einst Gilbert, den Südpol, weil derselbe den dem Südpol der Erde zukommenden gleichen Magnetismus besitzt. Für einen solchen Apparat, woran die Größe der Ablenkung gemessen werden kann, führt Ampère zuerst den Namen Galvanometer ein, weil er imstande sei für den elektrischen Strom dasselbe zu leisten, wie das Elektrometer für die Elektrizität der Maschine.

Ampère zeigt nun, daß der Strom auf die Nadel nach seiner Regel wirkt, ob die Nadel über oder unter demselben angebracht ist, und ebenso ob der Strom durch die Leitung geht oder durch das Element selbst, d. h. auf dem Wege von einer Platte zur andern.

149. Von den Experimenten mit der Nadel geht Ampère im § 4 seiner Abhandlung über zu der Wirkung zweier Stromkreise aufeinander und findet das wichtige Gesetz, daß zwei parallele und gleichgerichtete Ströme einander anziehen, dagegen zwei parallel aber entgegengesetzte Ströme einander abstoßen. Dies ist ein großer Unterschied gegen die ruhende Elektrizität, wo gleiche sich abstoßen, ungleiche Arten sich anziehen. Auch haften zwei Drähte, welche von gleich gerichteten parallelen Strömen durchflossen sind, sobald sie in Berührung gekommen sind, fest aneinander. Zu diesen Versuchen hatte Ampère anfangs zwei Ströme von verschiedenen Stromquellen benutzt; sehr bald sah er ein, daß dies nicht notwendig sei, sondern, daß zwei Teile ein und desselben Stromes die gleiche Wirkung aufeinander ausüben.

Ampère beschreibt seine Apparate dann; der erste besteht aus einem leicht beweglich aufgehangenen Kupferbügel, der wie ein Quadrat gebogen ist, an dem die eine Seite fehlt; dieser quadratische Bügel ist an seinen beiden freien Enden

---

1) Annales de Chimie et de Physique, l. c. pag. 67. — Si l'on se place par la pensée dans la direction du courant, de manière qu'il soit dirigé des pieds à la tête de l'observateur, et que celuici ait la face tournée vers l'aiquille; c'est constamment à sa gauche que l'action du courant écartera de sa position ordinaire celle de ses extrémités qui se dirige vers le nord.

durch eine dünne Glasröhre verbunden, in deren Mitte nach entgegengesetzter Seite des Bügels ein dem Gewicht des Bügels entsprechendes Übergewicht angebracht ist, sodaß, wenn die über die Glasröhre hinausragenden freien Enden des Kupferdrahtes als Aufhängungsachsen umgebogen, auf zwei Schneiden, die an festen Stativen sich befinden, gelegt werden, eine Art Wagebalken entsteht, der sich dadurch, daß der Bügel ein klein wenig schwerer ist als das Übergewicht, im gewöhnlichen Zustande in vertikale Stellung begiebt. Etwas seitlich von der unteren horizontalen Seite des quadratischen Bügels befindet sich ein horizontaler fester Leiter, durch welchen der Strom in beliebiger Richtung geleitet werden kann, parallel der Ebene des beweglichen Bügels. Durch gleiche Stromrichtung in beiden horizontalen Leitern wird der bewegliche Bügel nach der Seite des festen Leiters angezogen, und bei entgegengesetzter Richtung abgestoßen, sodaß eine pendelnde Bewegung entsteht.

Die Beweglichkeit des Apparates wird erhöht, indem er den quadratischen Bügel durch Aufhängen auf einer feinen Stahlspitze um eine vertikale Achse drehbar macht und nun nicht einen horizontalen festen Leiter auf die untere Seite wirken läßt, sondern einen vertikalen auf einen seitlichen Arm des aufgehangenen Quadrats[1]). In einem anderen Apparate ließ Ampère eine vertikale Glasstange einen in Form eines Rechtecks gebogenen Kupferdraht tragen, sodaß die Fläche des Rechtecks durch die Glasstange gerade halbiert wurde, die Glasstange war unten und oben mit feinen Stahlspitzen versehen, welche in kleine Stahlnäpfe eines festen Stativs tauchend, die Achse leicht beweglich machten. Dieser bewegliche Bügel wurde umgeben von einem festen Drahtrechteck; ließ man nun den Strom durch das feste Rechteck gehen und dann durch den beweglichen Bügel, so stellte sich der Draht sofort so ein, daß die einzelnen Partien des festen Bügels parallel denen des beweglichen waren und die Stromrichtung überall die gleiche war.[2])

---

1) l. c. pag. 184.
2) l. c. pag. 171.

150. Da sich nun die gleiche Einstellung durch Einwirkung eines Magneten herstellen ließ, versuchte Ampère den Magneten durch einen Strom zu ersetzen[1]) und konstruierte einen höchst sinnreichen Apparat. Er nahm zwei gleich lange, an beiden Enden offene Glasröhren und steckte sie in eine Holzfassung, nachdem von jeder ein Ende rechtwinklig umgebogen war, sodaß die langen Enden der Röhren nach rechts und links, die kurzen umgebogenen nach oben und unten gerichtet waren. Durch die Röhre rechts steckte er einen Draht, von oben nach rechts, den er dann auf der Außenseite des langen Schenkels der Röhre in einer engen Schraubenlinie aufwickelte bis zur Mitte der kleinen Holzfassung, dann auf dem langen Schenkel der zweiten Röhre in demselben Sinne weiter wickelte bis zum Ende derselben; von hier aus bog er den Draht durch die Röhre zurück, sodaß das Ende des Drahtes nun nach unten sah, während der Anfang nach oben gerichtet war, diese herausragenden Drahtenden machte Ampère zur vertikalen Achse des Apparates, indem er das untere in ein Quecksilbernäpfchen tauchen ließ, das obere umbog und gleichfalls in ein Quecksilbernäpfchen tauchte. Sobald nun der Strom durch diesen Apparat ging, wurde derselbe zu einem Magneten und wirkte gerade so wie eine Magnetnadel.

151. Wenn nun die Magnetnadel unter dem Einfluß des Erdmagnetismus eine bestimmte Einstellung nimmt und diese Spirale ebenso wie eine Magnetnadel wirkt, so muß auch der Erdmagnetismus dieselbe richtende Kraft auf dieselbe ausüben, allein es gelang Ampère nicht dies zu beobachten.

Er schrieb diesen Mißerfolg der geringen Beweglichkeit der Spirale zu; er konstruierte[2]) deswegen ein Rechteck aus Kupferdraht, das auf einer horizontalen Achse befestigt war und nach beiden Seiten genau gleich schwer gemacht war, sodaß es in jeder Stellung in Ruhe war; ließ man nun durch dieses Rechteck einen Strom gehen, so stellte sich dasselbe senkrecht zur Richtung der Inklinationsnadel, wenn die horizontale Achse senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt

1) l. c. pag. 371.
2) l. c. pag. 191 ff.

war, und zwar so, daß derselbe im Westen aufsteigend und im Osten absteigend ist. Zweitens konstruierte Ampère ein um eine vertikale Achse drehbares Rechteck, hing dies auf, sodaß es in einer beliebigen Stellung zur Ruhe kam, schloß er dann den Strom, welcher durch das Rechteck geleitet wurde, so kam nach einigen Schwingungen das Rechteck in einer zum Meridian senkrechten Ebene zur Ruhe, indem wiederum der westliche Draht den aufsteigenden Strom enthielt.

Hierin ist Ampère also auch der erste Beobachter, nicht wie in vielen Büchern zu lesen ist, hat Seebeck diese Entdeckung gemacht, er hat den Versuch nur wiederholt und citiert Ampère an der betreffenden Stelle ganz ausdrücklich[1]. Und dies ist der Unterschied von Oerstedt, dessen Versuche Ampère selbst citiert: Oerstedt hatte einen Stahlmagneten zur Einstellung benutzt, während Ampère den Erdmagnetismus benutzt.

152. Diese experimentellen Erfolge konnten Ampère selbstverständlich nicht befriedigen, er ging weiter. Zunächst zeigt er, daß bei allen früheren Versuchen das hinderlich gewesen sei, daß man die einzelnen Kräfte nicht gehörig getrennt habe. Auf die Oerstedtsche Nadel habe der Erdmagnetismus gewirkt und der Strom, das müßte vermieden werden. Zu dem Zweck konstruierte er eine „astatische Nadel", freilich nicht wie wir sie gewohnt sind, durch zwei entgegengesetzte, gleiche, fest verbundene Nadeln, auf welche der Erdmagnetismus keine richtende Kraft ausüben kann, sondern indem er eine Nadel an einer festen Achse so drehbar aufstellt, daß die Achse im Meridian und in der Richtung der Inklinationsnadel liegt, dann kann die Nadel nur in der zu dieser Richtung senkrechten Ebene schwingen, ist also unabhängig vom Erdmagnetismus; läßt man auf eine solche Nadel einen Strom wirken, so ist der Ablenkungswinkel der Nadel, d. h. der Winkel zwischen Stromebene und Richtung der Nadel stets ein rechter. Die Ursache dieser Ablenkung nennt er die „richtende" Kraft zwischen Strom und Magnetismus.[2])

---

[1]) Abhandlungen der Berliner Akad. 1820—21. pag. 341.
[2]) l. c. pag. 199.

Es sei übrigens gleich hier darauf aufmerksam gemacht, daß Ampère schon im folgenden Jahre auch die astatische Nadel konstruierte, welche noch heute in den Galvanometern gebraucht zu werden pflegt. An einem dicken Messingdraht befestigte er zwei gleiche parallele Magnetnadeln, so daß ihre Pole entgegengesetzt gerichtet waren, dann wurde das Drehungsmoment des Erdmagnetismus auf die eine Nadel durch das auf die andere aufgehoben, leitete er dann den Strom zwischen beiden Nadeln, diesen parallel, hin, so wurde die Ablenkung eine bedeutend größere (nahezu ein rechter Winkel) als bei Anwendung nur einer Nadel, da der zwischenliegende Strom auf beide Nadeln nach der Ampèreschen Regel in gleichem Sinne drehend wirkt. Ampère richtete die Nadeln so ein, daß sie an der Messingstange verschiebbar waren und dem Leitungsdrahte auf diese Weise beliebig nahe gebracht werden konnten, dadurch erhöhte er die Geschwindigkeit, mit welcher die Nadeln die Ablenkung von 90° annahmen.[1])

153. Neben dieser richtenden Kraft unterscheidet er eine „anziehende und abstoßende", welche schließlich mit der ersten zusammen zur Erklärung der Wirkungen zwischen Magnet und Strom genügen. Ein Leiter, welcher die Pole einer Voltaschen Säule miteinander verbindet und ein Magnet, welcher senkrecht zum Leiter steht, ziehen einander an, wenn der Nordpol des Magnets zur Linken des Stromes sich befindet, beide also in der Lage sich befinden, welche sie vermöge ihrer gegenseitigen Einwirkung aufeinander anzunehmen bestrebt sind, dagegen stoßen sie sich ab, wenn der Nordpol sich rechts befindet. Diese beiden Kräfte bestimmen von vornherein, was geschehen muß, wenn Strom und Magnet in irgend einer Weise aufeinander wirken, so auch für den Fall, daß einer horizontal schwebenden Nadel ein vertikaler Strom genähert wird, wo allein die anziehenden und abstoßenden Kräfte zur Geltung kommen.

154. Und nun der größte und wichtigste Schritt Ampères! Aus diesem Verhältnis zwischen Magnet und Strom schließt er, daß die magnetischen Erscheinungen begründet sind

1) Annal. de Chimie et de Phys. T. 18. 1821. pag. 320—322.

durch das Vorhandensein elektrischer Ströme in dem Erdkörper und den Stahlmagneten.[1]) Aus dieser Anschauung entsprang die Annahme der zweiten Kraft und durch die experimentelle Bestätigung dieser glaubt Ampère seine Ansicht über Magnetismus gerechtfertigt zu haben. Nun fragt er sich, was würde man geschlossen haben, wenn nicht die Einstellung der Magnetnadel in den Meridian zuerst bekannt gewesen wäre, sondern die Einstellung derselben unter Einfluß eines galvanischen Stromes. Offenbar würde man das erstere Phänomen jetzt zu erklären suchen durch die Existenz eines galvanischen Stromes um die Erde. Nun wohl, so stellen wir die Hypothese auf: Es giebt einen „Erdstrom", dessen Richtung von Ost nach West jeden frei beweglichen Magneten nach dem ersten Gesetz zwingt, sich in den magnetischen Meridian zu stellen. Und ist denn die Existenz eines solchen Stromes anzuzweifeln? Es ist freilich nicht anzunehmen, daß dieser Strom durch einen etwa dem Äquator genau folgenden Leiterkreis gehe, vielmehr wird er nur eine in sich zurückkehrende mannigfache Ausbuchtungen und Unregelmäßigkeiten besitzende krumme Linie um die Erde durchlaufen. Die verschiedenen Materien der Erdoberfläche befinden sich ganz in dem Falle einer in sich selbst zurücklaufenden Voltaschen Säule, welche aus Elementen, wie sie der Zufall aneinander geführt hat, besteht und rings um die Erde gleichsam einen zusammenhängenden Gürtel bildet. Es müßte sogar ausdrücklich in der Absicht, daß keine Wirkung stattfinden sollte, die Anordnung getroffen sein, wenn in einer Reihe verschiedener Körper, welche eine geschlossene krumme Linie rings um die Erde bilden, nicht nach irgend einer Richtung hin ein elektrischer Strom entstehen sollte. Es braucht nun durchaus auch nicht ein einzelner Strom zu existieren, es können eine ganze Anzahl solcher Ströme vorhanden sein, welche aber alle aufeinander wirken und sich parallel zu stellen suchen, es genügt dann, wenn nur die Gesamtheit der etwa vorhandenen eine

---

1) l. c. pag. 201. — j'en déduisis l'explication des phénomènes magnetiques, fondée sur l'existence des courans électriques dans le globe de la terre et dans les aimans. —

solche Wirkung ausübt, wie es theoretisch von einem zu erwarten ist.

155. Wenn auf diese Weise der Erdmagnetismus erklärt ist, muß auch der Stabmagnetismus so erklärt werden. Man hat demnach den Magneten als eine Vereinigung vieler elektrischer Ströme aufzufassen, welche senkrecht auf der magnetischen Axe des Stabes stehen (comme un assemblage de courans électriques qui ont lieu dans des plans perpendiculaires à son axe, dirigés de manière que le pole austral de l'aimant, qui se porte du côté du nord, se trouve à droite de ces courans, puisque'il est toujours à gauche d'un courant placé hors de l'aimant, et qui lui fait face dans une direction parallèle), und in einer solchen Richtung fließen, daß der Nordpol sich rechts von diesen Strömen befindet etc. Die dann von mir beschriebene Spirale würde also, wenn die umkreiste Fläche sehr klein gedacht würde, dem entsprechen, was Ampère unter einem Magneten sich vorstellt. Da nun in der That mit dieser Auffassung sämtliche magnetische Erscheinungen sich ableiten lassen, wurde Ampère immer mehr in seiner Ansicht bestärkt und erklärt diese Ströme als die einzige Ursache (la cause unique) aller magnetischen Erscheinungen. Auch erklärt er die von Arago gefundene Magnetisierung einer Stahlnadel durch den galvanischen Strom, wie ich sie oben beschrieben habe, mit Hilfe der später so genannten Molekularströme.

156. Ich kann von dieser inhaltreichen Arbeit Ampères nicht Abschied nehmen, ohne noch einer Idee des großen Mannes zu gedenken, welche in den mir bekannten Lehrbüchern ebenfalls mit Stillschweigen übergangen wird oder wie von Seyffer völlig falsch dargestellt wird. Es ist die Idee zur magnet-elektrischen Telegraphie. Ampère will soviel Leitungsdrähte von einem Orte zum anderen führen, wie Buchstaben im Alphabete sind, an der entfernten Station bildet der Draht eine Schleife und geht wieder zurück; in der Schleife befindet sich eine Magnetnadel; wird durch den Draht ein Strom geschickt, so wird die Nadel abgelenkt, jedem Buchstaben entspricht ein Draht und eine Nadel. Der Strom muß also je nach dem zu telegraphierenden Buchstaben durch die verschiedenen Leitungsdrähte geschickt werden, das geschieht am

einfachsten durch eine Klaviatur, welche an jeder Taste den entsprechenden Buchstaben trägt, man würde zum Lesen eines solchen Telegrammes nicht mehr Zeit gebrauchen, als zum Lesen gedruckter Buchstaben, und zum Niederdrücken der Tasten gehört nicht mehr Zeit als zum Schreiben des Buchstabens.[1])

Freilich ist diese Vorschrift praktisch nicht ausgeführt, und wenn man sie sich ausgeführt denkt, wird man zugeben, sie ist unpraktisch, weil viel zu kostspielig, allein sie ist doch sehr wohl ausführbar. Die Idee ist in der That sehr groß, wenn man bedenkt, daß erst drei Monate vor dieser Ampèreschen Arbeit die Oerstedtsche Entdeckung bekannt gegeben wurde. Und sie ist sicher viel ausführbarer wie der ebenfalls nicht ausgeführte Vorschlag Soemmerings zur chemischen Telegraphie, der sich überall angeführt findet. Sömmering wollte die chemische Wirkung des Stromes benutzen, und zwar die Wasserzersetzung. Ebenfalls sollten 27 Leitungsdrähte vom Aufgabe- zum Empfangsapparat gehen hier in 27 Glasnäpfchen enden, worin angesäuertes Wasser sich befand, dies wurde durch den Strom zersetzt und da jeder Napf mit einem Buchstaben versehen war, las man den telegraphierten Buchstaben ab durch Beobachtung der eintretenden Wasserzersetzung in dem Becher, für welchen der Strom im Aufgabeapparate geschlossen wurde. Dieser Vorschlag Sömmerings datiert aus dem Jahre 1809, war aber Ampère, wie er in einer späteren Note ausdrücklich anführt, beim Schreiben seines

1) l. c. p. 73. D'après le succès de l'expérience que m'a indiquée M. le marquis de Laplace, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'ils y a de lettres, et en placant chaque lettre sur une aiguille différente établir à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deus extremités à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce soit, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier, dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre.

Vorschlages noch nicht bekannt, er wurde erst durch Arago darauf aufmerksam gemacht.[1])

157. Aus dieser Arbeit Ampères möchte ich ferner noch einiger hier zuerst angegebener Bemerkungen gedenken, die in späteren Arbeiten ausgeführt sind. Bei der Betrachtung eines Magneten als einer Stromspirale und den Versuch, durch eine solche Spirale einen Magneten nachzubilden, stieß Ampère zunächst auf Schwierigkeiten, eine einfache Spirale von einem Strome durchflossen, wollte nämlich zunächst nicht auf eine andere benachbarte wirken, wie sie nach seiner theoretischen Ansicht gemußt hätte, deswegen überlegte er sich die Art der Wirkungsweise und stellte das Gesetz auf: „Wenn ein Stromteilchen in irgend einer Richtung, welche als Resultante zu zwei Seitenrichtungen aufgefaßt werden kann, sich befindet, so übt sie nach diesen Richtungen hin eine Kraft aus gleich den Kräften, welche von zwei in den Komponenten liegenden Strömen ausgehen, die so groß sind, daß sie eine Resultante ergeben gleich der Kraft in der Richtung des vorhandenen Stromteilchens“.[2]) Die so für ein Stromteilchen gewonnenen Kräfte integrieren sich über die ganze Spirale zu zwei Kräften, deren eine in der Achse der Spirale, deren andere senkrecht dazu liegt. So wirkt eine Spirale nicht nur als eine Summe von in parallelen Ebenen befindlichen Kreisströmen, sondern auch als ein in der Achse der Spirale befindlicher geradliniger Strom. Will man nun die Wirkung der Kreisströme allein haben, hat man den Draht, nachdem die Spirale in einer Richtung gebogen ist, nur in der entgegengesetzten geradlinig durch die Spirale hindurchzustecken, und die Wirkung dieses Drahtes wird derjenigen, welche als Komponente in der Achse der Spirale auftritt, entgegengesetzt sein, daher das Resultat in

---

1) l. c. Note.

2) l. c. pag. 174. La loi dont il s'agit consiste en ce que la petite portion de courant électrique, dirigée suivant la résultante, exerce, dans quelque direction que ce soit, sur un autre courant ou sur un aimant, une action attractive ou répulsive égale à celle qui résulterait, dans la même direction, de la réunion des deux portions de courans dirigées suivant les composantes.

dieser Richtung 0. Es hat diese Ableitung bei vielen Apparaten Verwendung gefunden seit Ampères Zeiten.

Versuche, welche Biot zur Vergleichung der Wirkungen angestellt hatte, die der Erdmagnetismus auf zwei auf gleiche Weise magnetisierte Stäbe, von denen der eine massiv, der andere hohl war, ausübte, führten Ampère ferner dazu, daß die in einem Querschnitte eines Magneten anzunehmenden Ströme alle von gleicher Intensität seien, da die Wirkungen jener Magnete proportional den Maßen waren.[1]) In dieser Abhandlung nimmt Ampère nun noch an, daß die Ströme, welche den Magneten bilden, koncentrisch zur Achse desselben seien, eine Anschauung, die er schon in den nächsten Arbeiten verließ. Ich werde zum Schluß dieses Abschnittes eine kurze Übersicht über Ampères Theorie geben, worauf ich jetzt verweisen möchte.

158. Außer Ampère arbeitete auch Biot über die Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel, und er war so glücklich am 30. Oktober 1820 der Akademie das Resultat einer in Gemeinschaft mit Savart angestellten Untersuchung vorlesen zu können.[2]) Um die Magnetnadel möglichst beweglich zu machen hingen sie dieselbe an einem langen Coconfaden auf und kompensierten die Wirkung des Erdmagnetismus durch einen in der Nähe aufgestellten festen Magneten, sodaß die Ruhelage der Nadel lediglich durch die geringe Torsionskraft des Coconfadens bedingt war. Durch einen vertikalen Draht wurde in verschiedenen Entfernungen ein Strom geschickt, und die Nadel stellte sich senkrecht zu der durch den Strom und den Coconfaden angegebenen Ebene, indem der Nordpol der Nadel die nach der Ampèreschen Regel gegebene Stellung zur Linken eines im Strom liegenden, die Nadel anschauenden Menschen einnahm. Durch eine einfache mathematische Betrachtung findet Biot nun das wichtige Gesetz: die auf einen Magnetpol wirkende Kraft ist senkrecht auf dem vom Magnetpol auf den Strom gefällten Lote, und senk-

1) l. c. pag. 179.

2) Annales de chimie et de physique XV. pag. 222. Die vollständige Untersuchung in Biots Lehrbuch.

recht auf dem Strome, d. h. senkrecht auf der durch den Strom und den Magnetpol bestimmten Ebene. Die Intensität der Kraft ist umgekehrt proportional der Distanz des Poles von dem Strom. Das ist das Gesetz der Einwirkung eines gradlinigen unbegrenzten Stromes auf einen Magnetpol.

Eine von Biot-Savart unabhängige Ableitung dieses Gesetzes giebt Schmidt[1]), indem er von der Voraussetzung ausgeht, daß jeder einzelne Punkt des Stromes die Pole der Nadel im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung abstoße, und daß der Strom unendlich groß sei gegenüber der Nadel. Die Ableitung ist dann streng mathematisch.

Einer ebenso aufgehangenen Magnetnadel bediente sich Boisgiraud bei seinen Untersuchungen, die er am 9. November 1820 las.[2]) Er beobachtete, daß ein horizontal gerichteter Strom eine solche Nadel nicht nur richte, sondern auch anziehe, und um die anfänglich undeutlichen Erscheinungen besser beobachten zu können, überzog er die kleine Nadel mit etwas Öl und ließ sie auf Wasser schwimmen. Da sah er deutlich wie die Nadel nicht nur die bekannte Ablenkung aus dem Meridian erfuhr, sondern sich auch so lange auf dem Wasser fortbewegte, bis die durch die Stromrichtung gelegte Vertikalebene durch den Mittelpunkt der Nadel ging; war der Leitungsdraht dagegen in Berührung mit der Nadel, so zeigte sich eine solche Bewegung nicht. Es ist diese Erscheinung direkt eine Bestätigung des Biot-Savartschen Gesetzes, wenn auch Boisgiraud sie nicht als solche erkannte.

159. Noch eine andere höchst wichtige Entdeckung verdanken wir um diese Zeit den Franzosen. Am 10. November 1820 machte Arago im Moniteur universel No. 315 bekannt, daß es ihm gelungen sei auch durch den elektrischen Funken eine Stahlnadel zu magnetisieren, indem er denselben durch eine Spirale geschickt habe, die auf eine Glasröhre gewickelt sei, in der die Stahlnadel gelegen sei (qu'il avait aimanté des fils d'acier en les plaçant dans des tubes de verre enveloppés

---

1) Gilbert, Annal. LXXI. pag. 389. 1822.
2) Annales de chimie et de physique XV. pag. 279.

par des hélices de fil metallique, le long desquelles il a fait passer des etincelles electriques)[1]). Die näheren Umstände erfahren wir bei dieser Nachricht nicht. Aber am 12. November schrieb Davy an Dr. Wollaston einen Brief, worin er unter mehreren schon bekannten Versuchen über die magnetischen Eigenschaften eines Voltaschen Stromes, unter welchen besonders der Versuch mit der Anordnung von Eisenfeilspänen senkrecht auf die Richtung eines unter der Glasplatte, worauf er lag, hingeführten Stromes, sowie die Beobachtung, daß der Magnetismus eines Leitungsdrahtes nicht durch das galvanische Glühen desselben geschwächt werde, eine dem Verhalten der Magnetnadeln, welche durch Glühen bekanntlich den Magnetismus verlieren, entgegenstehende Thatsache, am meisten interessieren dürften, ausführliche Beobachtungen mitteilt über die Wirkung der Reibungselektrizität.[2])

Ich habe seiner Zeit auf die früheren Beobachtungen hingewiesen, welche die Magnetisierung der Nadeln durch die Entladungsfunken darthun sollten und des negativen Resultates van Marums gedacht. Davys Methode war von der Aragos verschieden, wie sie ja auch selbständig gemacht ist, sie ist auch nicht durch den schon im September von Arago gemachten Vorschlag, diese Verhältnisse zu untersuchen, veranlaßt, da Davy, wie er selbst dem gedruckten Bericht zufügt, diesen erst am 24. Nov. erhalten hat.

Arago war der berühmte Herausgeber der Annal. de Chimie et de Physique in Gemeinschaft mit Gay-Lussac, er war 1786 in Estagel bei Perpignan geboren, studierte in Paris und wurde Astronom am Längenbureau zu Paris, dann Professor der Analyse, Geodäsie und sozialen Arithmetik an der polytechnischen Schule, seit 1809 Mitglied des Instituts; 1831 wurde er Kammermitglied, um 1848 als Mitglied der provisorischen Regierung aufzutreten. Am bekanntesten von ihm ist der Anteil, den er als Sekretär des Längenbureaus an der französischen

---

1) Ich citiere nach dem in Gilbert, Annales LXVIII. pag. 17 gegebenen Wortlaut.

2) Gilberts Annalen, LXXI. pag. 225. Die Versuche über Reibungselektrizität beginnen pag. 232.

Gradmessung unter Biot, seit 1805, nahm; er starb 1853 zu Paris.

160. Mit der Elektrisiermaschine war Davy so wenig, wie Pfaff in Kiel, gelungen eine Magnetisierung hervorzurufen, daher wandte er den Entladungsschlag einer Leydener Batterie von 17 Quadratfuß Belegung, im Maximum geladen, an, den er durch einen Silberdraht von $^1/_{20}$ Zoll Dicke gehen ließ. Unter diesen Draht brachte er senkrecht zu seiner Richtung 2 Zoll lange $^1/_{20}$ bis $^1/_{10}$ Zoll dicke Nadeln aus Stahl, welche so stark magnetisch wurden, daß sie kleine Drahtstücke oder Nadeln anzogen. Die Wirkung zeigte sich auch, wenn er Wasser oder dicke Glasplatten oder isolierte Metallplatten zwischen Nadel und Draht hielt, selbst bis auf eine Entfernung von 5 Zoll. Diese letztere Erscheinung gab Davy wunderbarer Weise die Veranlassung, die von Ampère behauptete Identität zwischen Elektrizität und Magnetismus zu leugnen[1]), als ob das Magnetisieren durch Stabmagnetismus nur möglich sei durch Berührung! Die Magnetisierung fand nicht statt, wenn die Nadel in ihrer Längsrichtung zu einem Teile des Entladungsdrahtes gemacht wurde, dagegen zeigte sie sich auch wenn der Funken durch die Luft hin über derselben quer gerichtet hinging, wenn auch etwas geringer. Die Polarität bestimmte sich nach dem Ampère'schen Gesetz. Die strenge Gültigkeit desselben zeigte besonders der Versuch, daß ein zwischen zwei aneinander senkrecht zur Stromrichtung liegenden Nadeln durch ihren Mittelpunkt geführter Strom so lange die Nadeln vereint blieben in denselben keinen Magnetismus erzeugt zu haben schien, sobald aber dieselben getrennt wurden, hatten beide Magnetismus in entgegengesetzter Polarität, wie es die Ampèresche Regel verlangt wegen der nach rechts und links vom Strom verschiedenen Lage der Nadeln.

Eine noch überraschendere Abänderung dieses Davyschen Versuches zeigte im folgenden Jahre Erman in Berlin[2]), der den Entladungsdraht durch das Centrum einer Stahlscheibe gehen ließ. Nach der Entladung zeigte die Scheibe

---

1) Gilberts Annalen, LXXI. pag. 240. 1822.
2) Schweiger Journal, XXXVII. pag. 24.

keinen Magnetismus, schnitt man aber die Scheibe diametral durch, so waren beide Hälften entgegengesetzt magnetisch. Ganz analoge Versuche mit Stahlcylindern, Stahlkugeln und Scheiben finden wir bei van Beek.[1]) Später glaubte Savary[2]) auch Fälle gefunden zu haben, wo die Magnetisierung nicht dem Ampèreschen Gesetz gefolgt sei, indem er in verschiedenen Distanzen verschiedene Polarität der Nadel erhielt, auch bei der Magnetisierung durch eine Spirale erhielt Hankel[3]) ähnliche Abweichungen, ohne ein Gesetz dafür finden zu können. Jedoch zeigte von Liphart, daß man es hier mit einer doppelten Entladung zu thun habe, daß für die einfache die Ampèresche Regel ohne weiteres gültig sei, sobald aber ein rücklaufender Strom eintrete, die Magnetisierung in entgegengesetztem Sinne erfolge, wie es die Regel erfordere.[4]) Später mehr hierüber. Davys Magnetisierung gelang nicht, wenn er die Entladung langsam durch einen schlechten Leiter, wie durch eine $^1/_4$ Zoll dicke Säule von Schwefelsäure bewirkte. Später sollten diese Entladungen sehr fruchtbar werden, freilich nicht für die Magnetisierung, sondern für die Ablenkung einer Nadel.

161. Eine sehr wichtige Bemerkung findet sich aber noch in Davys Arbeit. Arago hatte, wie erwähnt, schon die Anziehung von Eisenfeilspänen durch den Leitungsdraht beobachtet, Davy macht auf den Unterschied aufmerksam, der zwischen dieser und der durch den Magneten besteht. Während bei einem Magneten die Eisenspäne sich in krummen divergierenden Linien um den Pol gruppieren, ist das beim Draht anders, von einer Polarität desselben in diesem Sinne ist nicht die Rede, vielmehr legen sich die Späne fast ganz konzentrisch um den Draht in seiner ganzen Länge. Das führte ihn zu der höchst wunderbaren Theorie von vier Magnetpolen, wie sie auch Hofrat Munke in Heidelberg mit Herrn Hauptmann von Althaus gemeinschaftlich aufgestellt hatte. Ich gehe auf dieselbe nicht näher ein, da sie sich als unhaltbar heraus-

1) Gilberts Annalen, LXXII. p. 24, 25. 1822.
2) Annales de Chimie et de Phys. XXXIV. pag. 5. 1826.
3) Pogg. Annal. B. 65. pag. 536; B. 69. pag. 321. 1846.
4) Pogg. Annal. B. 116. pag. 513. 1862.

stellte. Diese cylindrische Anordnung ist bekanntlich vielmehr so zu fassen, daß die einzelnen Späne, welche direkt am Draht liegen, nach dem Ampèreschen Gesetz magnetisch werden und nun ihrerseits auf die benachbarten wirken, sodaß, wie Wüllner sich ausdrückt,[1]) die entfernteren Späne sich gegen den Draht aufrichten und gewissermaßen an einander emporklettern, bis sie den Draht eingehüllt haben. Der erste, der hierauf aufmerksam machte war Davy, nicht etwa Arago, wie man hie und da findet.

162. In der Fortsetzung seiner Arbeit, welche am 5. Juli 1821 gelesen wurde, hat Davy nun auch die wichtigen Versuche über die Einwirkung des Magneten auf den Lichtbogen. Da der Magnet nach Ampères Untersuchung anziehend oder abstoßend auf einen Strom wirkt, so glaubte Davy dies besonders bei dem zwischen zwei Kohlenspitzen überspringenden Funkenstrom leicht nachweisen zu können. Er ließ daher die Voltasche Batterie aus 2000 Zink-Kupferelementen mit angesäuertem Wasser herrichten und stellte damit einen „Flammen-Bogen“ oder eine „Säule elektrischen Lichtes“ her, welche je nach dem Grade der Verdünnung der sie umgebenden Luft, eine Länge von ein bis vier Zoll hatte. Ich bemerke hierbei ausdrücklich, daß Davy diesen später nach ihm benannten Davyschen Lichtbogen durchaus nicht als etwas neues, als seine Erfindung anspricht. Er sagt freilich nicht, wer denselben zuerst erfunden, wie ja die damaligen englischen Forscher überhaupt, wie Gilbert sich beklagt[2]), absichtlich oder unabsichtlich eine großartige Unkenntnis der Forschungen, welche auf dem Kontinent gemacht waren zur Schau tragen. Da de la Rive den Versuch schon ein Jahr früher gemacht, ist der Name „Davyscher Lichtbogen“ durchaus unstatthaft.[3]) Davys Hoffnungen erfüllten sich, er konnte durch einen Magneten diesen Bogen ausbiegen und durch veränderte Lage des Magneten rotieren lassen.[4])

---

1) Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 1872. Band IV. pag. 758.

2) Gilberts, Annal. LXVIII. pag. 32. 1821.

3) Vergleiche den Abschnitt elektrisches Licht.

4) Gilberts, Annal. LXXI. pag. 244. 1822.

163. Auch untersuchte Davy das Leitungsvermögen der Drähte, indem er feststellte, eine wie große Ladung durch sie hindurch gehe. Er fand, daß das Leitungsvermögen der Drähte bei steigender Temperatur abnimmt, daß die besseren Leiter weniger gut glühend werden wie die schlechteren, und konstruierte die noch heute gebräuchliche Kette aus Silberdrahtstücken und Platindrahtenden, in welcher bei stärker werdendem Strome zuerst die Platinstücke glühend werden, und fast zur Schmelztemperatur kommen, wenn die Silberdrähte noch kühl sind. Das wichtigste Ergebnis dieses Teiles der Davyschen Arbeit[1]) ist ohne Zweifel, daß das Leitungsvermögen eines Drahtes im umgekehrten Verhältnis seiner Länge steht, und unabhängig ist von seiner Oberfläche, aber direkt proportional dem Querschnitt, denn als er einen Draht flach walzen ließ, sodaß sein Querschnitt derselbe blieb, die Oberfläche aber sechs bis siebenmal größer wurde, erhielt er dieselbe Leitungsfähigkeit. Die Reihe der Leiter vom schlechtesten zum besten ist dann:

„Eisen, Palladium, Platin, Zinn, Zink, Gold, Blei, Kupfer, Silber."

Eine Reihenfolge, die sich mit Ausnahme des Bleies später ziemlich bestätigte. Die wunderbare Ansicht über den magnetischen Zustand eines Leitungsdrahtes, die er von Wollaston entlehnte, und die darin bestand, daß die Achse des Stromes von strömendem Magnetismus umkreist sei, hat sich so wenig bewahrheitet, daß ich füglich über sie weggehe.

164. In Deutschland war man diesen Erfindungen gegenüber durchaus nicht zurückhaltend, und wenn in irgend einem Lande, so wurde hier alles aufs genaueste geprüft und wiederholt, wobei sich denn manche kleine Neuigkeiten ergaben, die ich größtenteils übergehe, da sie ganz unerheblich für den weiteren Ausbau des Elektromagnetismus waren. Wollte ich alle Versuche registrieren, so hätte ich fast sämtliche damalige Professoren der Physik aufzuzählen, und eine ganze Reihe Dilettanten, die mit mehr oder weniger geistgreichen Diskussionen die Ampèreschen, Aragoschen und Oerstedtschen

1) l. c. pag. 252 ff.

Versuche wiedergaben, oft ihre Abhandlungen nur drucken ließen, um, wie einer von jenen schreibt, zu zeigen, „daß man hierorts den neuen Entdeckungen in der Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus nicht mit Gleichgültigkeit entgegengekommen.“ Dieser allgemeine Eifer ist wohl den vorzüglichen Bemühungen Gilberts zu danken, der mit einer musterhaften Treue alles Wichtige aus ausländischen Publikationen ins Deutsche übersetzte, und so allen Prioritätsreklamationen die Möglichkeit nahm, während Frankreich und England manche Entdeckungen mehrere Jahre später, nachdem sie gemacht waren, als neue einheimische noch einmal vorgesetzt bekamen. So ist es mit einer Arbeit des Professor Schmidt in Gießen, welcher bereits am 24. April 1821 den wichtigen Versuch publizierte, wodurch die Aragosche Entdeckung mit der Ampèreschen in direkten Zusammenhang gebracht wurde.

165. Ampères Entdeckung brachte Schmidt auf den Gedanken, ob die Anziehung zweier paralleler gleichgerichteter Ströme sich nicht auch würde darstellen lassen durch Reibungselektrizität. Und in der That gelang es ihm, die Anziehung zweier gleichgerichteter Ströme zu zeigen, von denen der eine zwischen zwei Kleistschen Platten überging, die durch eine Elektrisiermaschine langsam geladen wurden, während der andere bewegliche Strom durch einen beweglich aufgehangenen Messingdraht mit Spitzenwirkung ging. Dieser stellte sich zunächst dem ersten Leiter parallel und dann ließ sich eine Anziehung daran wahrnehmen bei gleichgerichteten Strömen, bei entgegengesetzt gerichteten eine Abstoßung.[1])

166. Der Erste, welcher in Deutschland die Versuche mit der Reibungselektrizität machte, war der Geh. Rat und Akademiker Ritter von Yelin[2]), welcher am 11. November 1820 bereits der Akademie in München seine vorzüglichen Versuche vorführte. Er kannte nur die kurze Notiz aus dem Moniteur über Aragos Arbeiten, welche ich oben citierte, und stellte seine Versuche so an, daß er eine in eine Thermometerröhre

---

1) Gilberts Annal. LXVIII. pag. 28.

2) Gilberts Annal. LXVI. pag. 406, und LXVIII. pag. 17.

gesteckte Stahlnadel sowohl durch einfache Querstellung gegen den Leitungsdraht, durch welchen die Entladung einer Kleistschen Flasche ging, als auch durch Umgeben der Nadel mit einer Spirale zu magnetisieren imstande war. Es gelang Yelin auch durch den einfachen Funken der Elektrisiermaschine die Magnetisierung zu erhalten, am zuverlässigsten jedoch durch die Entladung der Verstärkungsflasche. Yelin macht auch ausführliche Versuche über den Einfluß des Gewindes, und darin ist er unbestreitbar sogar ganz originell, denn Arago hat diese Unterscheidung, daß nämlich ein Rechtsgewinde der Nadel die entgegengesetzte Polarität von der durch ein Linksgewinde hervorgerufenen verleiht, nicht. Es sind diese Versuche um so mehr anerkennenswert, als die Aragosche Notiz von den meisten Physikern zunächst so verstanden war, daß er durch den Funken eines Trogapparates oder einer Voltaschen Säule die Magnetisierung erreicht habe; erst durch die spätere ausführliche Abhandlung Aragos wurde man belehrt, daß es sich in der That um statische Elektrizität gehandelt habe.

167. Von nicht geringerem Interesse dürften die Böckmannschen[1]) Versuche sein, welche er über den Einfluß des Gewindes anstellte. Er umwickelte die eine Hälfte der die Nadel umschließenden Glasröhre als Rechtsgewinde, die andere als Linksgewinde und erhielt so an beiden Enden der Nadel Nordmagnetismus, was ihn anfangs etwas in Erstaunen setzte; bei genauer Untersuchung stellte sich aber heraus, daß die Nadel in der Mitte Südmagnetismus habe, daß sie also in zwei Magnete zerlegt sei. Wurde statt der Glasröhre eine solche von Blei angewandt und die Nadel mit Wachstaffet eingehüllt, so zeigte sich derselbe Erfolg. Die Stärke des Magnetismus war abhängig von der Stärke der vorhandenen Elektrizität und von der Masse der Nadel, aber nicht allein von der Anzahl der Funken.

168. Nach dieser Darstellung der Versuche über Reibungselektrizität, welche besonders auch vom theoretischen Standpunkte aus eine große Bedeutung hatten, indem sie die

---

1) Gilberts Annal. LXVIII. pag. 12. 1821.

letzten Zweifler an der Wesensgleichheit zwischen Reibungs- und Berührungselektrizität zum Glauben brachten, und welche uns in dem Jahre 1827 wieder beschäftigen werden, kehren wir zurück zu den weiteren Resultaten, welche durch Versuche mit dem Strom in seiner Wirkung auf sich und auf Magnetismus in den nächsten Jahren gezeitigt wurden. Da ist es wieder Ampère in erster Linie, der uns beschäftigen wird, dabei aber tritt jetzt zum erstenmale Faraday auf, der in seinen späteren Untersuchungen der Anfänger einer neuen Epoche wird.

Zunächst verbesserte Ampère seine Apparate, durch welche er die Einwirkung zweier Ströme aufeinander und die Ersetzbarkeit eines Magneten durch eine Drahtspirale nachgewiesen hatte, er gab ihnen die Form, in welcher wir sie noch heute verwenden, um die Erscheinungen zu demonstrieren; es würde mich aber zu weit führen alle zu beschreiben, ich verweise da auf die Originalabhandlung.[1]) An neuen Thatsachen fügte Ampère seinen früheren hinzu, daß die Einwirkung gekreuzter Leitungsdrähte aufeinander so zu deuten ist, daß die Teile der Drähte, in welchen die Stromrichtungen gleichen Sinn haben, d. h. entweder beide dem Kreuzungspunkte zugewandt oder beide abgewandt fließen, einander anziehen, dagegen die mit entgegengesetzter Richtung, in dem einen zum Kreuzungspunkte hin, in dem andern davon weg, abstoßend aufeinander wirken.

169. Während diese Abhandlung unter der Presse war, erschien im Journal de l'Institution royale unter dem Datum des 11. September 1821 die Arbeit Faradays, welche eine wesentliche Förderung der Erforschung der Einwirkung zwischen Strom und Magnetismus brachte.[2]) Faraday bediente sich dazu eines Hareschen Kalorimotors. Da ich später keine Gelegenheit habe, hierauf zurückzukommen, sei gleich hier der 1819 erfundene Apparat beschrieben. Eine große Anzahl Zink-

1) Annales de Chimie et de Physique. XVIII. pag. 88 u. 313.

2) Die französische Übersetzung in Annales de Chimie et de Physique, XVIII. pag. 337, mit Noten, welche entweder von Ampère selbst herrühren oder unter seiner Aufsicht (vielleicht von Babinet) geschrieben sind, pag. 370. Ein Auszug aus der Arbeit von Gilbert in seinen Annalen. LXXI. pag. 127.

platten sind an dem einen Ende eines länglichen Holztroges parallel nebeneinander befestigt, während am anderen eine ebenso große Anzahl Kupferplatten sich befindet. Alle Zinkplatten sind durch einen Zinkstreifen leitend verbunden, alle Kupferplatten ebenfalls, sodaß die Zinkplatten für das Element nur eine Platte von sehr großer Oberfläche vorstellen und ebenso die Kupferplatten; in den Trog gießt Hare eine angesäuerte Kochsalzlösung oder eine sonstige alkalische Flüssigkeit. Ein zwischen die Pole dieses Elements gebrachter Platindraht wurde sofort weißglühend, der entwickelte Wasserstoff entzündete sich. Wegen der großen Wärmewirkung nannte Hare den Apparat Kalorimotor.

Eine etwas andere Einrichtung war die, daß er zwei sehr lange Zink- und Kupferplatten zu einer Spirale aufwickelte, und die Platten durch zwischengesteckte Korkstückchen vor direkter Berührung schützte, dann diese ganze Spirale in einen Eimer mit jener Flüssigkeit setzte. Moll in Utrecht verbesserte diese Haresche Spirale durch Trennung der Platten mittels einer Tuchlage, die mit aufgewickelt wurde.[1]) Diese Spirale, gewöhnlich die Haresche genannt, ist von Dr. Patterson und Mr. Lukens zuerst ausgeführt und zwar selbständig, während Hare, wie er sagt, sich dieselbe vorgenommen hatte, ohne sie auszuführen (cf. Schweigg. Journ. l. c. pag. 321).

Zunächst ließ Faraday den vertikal gestellten Schließungsdraht dieses Elementes auf eine horizontal schwingende Nadel wirken und beobachtete bei allmähligem Nähren des Drahtes für einen Magnetpol ein scheinbares Überspringen aus Anziehung in Abstoßung. Daraus glaubte Faraday schließen zu können, daß der Magnetpol einer Nadel nicht am Ende derselben liege, sondern etwas nach dem Mittelpunkt zu, eine Bemerkung, die er schon bei Coulomb hätte lesen können, und die bei Ampère und Gilbert ebenfalls gefunden werden konnte. Wegen dieser Unkenntnis früherer Arbeiten kam Faraday auf eine falsche Vorstellung der Wirkung des Poles und des Stromes, die freilich zu einem richtigen Experiment führte. Er leitete aus diesen Versuchen

---

1) Die erste Art ist beschrieben in Gilberts Annal. LXXI. pag. 126. Beide in Schweiggers Journal. XXVI. pag. 313.

nämlich ab, daß der Magnetpol das Bestreben haben müsse, den Strom zu umkreisen; wenn er aber selbst fest, dieser aber beweglich sei, werde diese Kraft den Strom um den Pol zum Kreisen bringen, es bestehe dagegen zwischen Pol und Strom keine direkte Anziehung oder Abstoßung. Es galt nun, diese Rotation nachzuweisen, und das ist das Wertvolle an dieser Faradayschen Arbeit.

Den ersten Apparat, welcher dies zeigte, übergehe ich, da er umständlicher ist und nicht so gut wirkt wie der am 18. Oktober 1821 an Ampère und Hachette von ihm gesandte.[1]) In eine kleine Glasröhre von 8 cm. Länge ragt von oben ein mit einer Öhre versehener Messingdraht, an welcher ein anderer Messingdraht leicht beweglich senkrecht herabhing, und mit seinem unteren Ende ein wenig in das den unteren Teil der Glasröhre füllende Quecksilber eintauchte. Durch dies Quecksilber hindurch ragte ein Pol eines kleinen Stahlmagneten, schickte man nun den Strom durch den herabhängenden Messingdraht und das Quecksilber, so fing sofort der Draht an zu rotieren um den Magnetpol. Die Rotation erfolgte in entgegengesetztem Sinne, sobald der Nordpol mit einem Südpol vertauscht wurde, oder sobald bei gleichem Pol ie Stromrichtung sich änderte.

170. Nun galt es, ebenfalls einen rotierenden Magnetpol bei stem Stromkreis zu schaffen. Faraday belastete das untere Ende nes kleinen Magneten so mit Platin, daß derselbe senkrecht Quecksilber schwamm und das obere Ende etwas über die erfläche des Quecksilbers hinausragte, dann schwamm der Nord- um einen festen in das Quecksilber ragenden Leitungsdraht um in entgegengesetzten Richtungen bei Änderung der Richtung Stromes. Später vereinigte der Mechaniker Newmann beide rimente in einem Apparat, wo man gleichzeitig auf der Seite Umkreisen des Magnets, auf der anderen Rotation Stromes sehen konnte, hierbei wurde der schwimmende et ersetzt durch einen unten angebundenen.[2])

n Verfolg dieser Untersuchungen wandte Faraday nun diese

Annales de Chimie et de Phys. XVIII. pag. 330.

Gilbert, Annal. LXXII. pag. 114. 1872.

seine Theorie vom Umkreisen auf zwei feste Leitungsdrähte und einen beweglichen Magneten an, und erhielt da die entsprechenden Resultate je nachdem die Ströme in den Drähten gleich oder entgegengesetzt waren. Die weitere Folgerung aber, daß es nun auch möglich sein müsse, einen Magneten um seine eigene Achse zum Rotieren bringen zu können und gleicherweise auch einen Strom, war ihm zunächst nicht möglich nachzuweisen; ebensowenig gelangen ihm anfangs die Versuche, eine solche Rotation durch den Erdmagnetismus zu erhalten. Darin wurde er von Ampère überholt. Daß Faraday überhaupt nicht auf die Idee kam, seine Versuche in die Ampèresche Theorie hinein zu passen, hatte wohl seinen Hauptgrund in der Autorität des Präsidenten der Königl. Gesellschaft, Dr. Wollaston, der die Ansicht von rotierenden magnetischen und elektrischen Flüssigkeiten aufgestellt hatte, und in dem Umstand, daß er nur die damals schon von Ampère aufgegebene Meinung kannte, der Magnet bestehe aus koncentrischen Kreisströmen um seine Axe. Wäre letzteres richtig gewesen, so war allerdings unklar, woher es komme, daß die Pole einer Stromspirale an den Enden derselben liegen, die eines Magneten aber nicht. So glaubte Faraday, durch diese Rotationskräfte alle Erscheinungen erklären zu sollen, am wenigsten gut gelang ihm das bei den beobachteten Wirkungen zwischen zwei Strömen. Gilbert bemerkt daher ganz richtig, daß seine sämtlichen Versuche sich viel leichter ohne solche in der Natur unerhörten Rotationskräfte erklären lassen, durch einfache Anziehung und Abstoßung unter Zugrundelegung der Ampèreschen Regel. Alles Theoretische in dieser Faradayschen Arbeit macht überhaupt keinen so günstigen Eindruck wie das Experimentelle.

171. Faradays Erfolge ließen Ampère nicht ruhen. Schon am 30. October 1821 hatte er einen Apparat gebaut, der ebenfalls diese Rotation eines Stromes um einen Magnetpol darstellte[1]), indem er die runde, gebogene Kupferplatte eines nach Art des Oerstedschen doppelcylindrigen Elementes gebauten elektromotorischen Apparates (der Doppelcylinder bestand aus Zink) an einem Kupferbügel befestigte, der durch eine

1) Annales de Chimie et de Phys. XVIII. pag. 331.

feine Spitze gehalten ward, die auf einem vertikalen Drahte ruhte, der den Strom wieder zum Zink leitete. Brachte Ampère in das Innere dieses Bügels einen Magnetpol, so zeigte sich die Rotation, ebenfalls aber auch, und das war ein Fortschritt, wenn eine Spirale von einem Strome durchflossen an die Stelle des Magneten gebracht wurde, und endlich zeigte er der Akademie am 10. Dezember den Versuch, daß ein ähnlich aufgehangener Kupferbügel, der vierarmig war, nur unter dem Einfluß des Erdmagnetismus ganz von selbst in fortwährende Rotation gebracht wurde, und zwar an seinem Apparat von Ost durch Süd nach West. Befand sich aber ein Südpol (nach Ampèrescher Bezeichnung, für uns ein Nordpol) unter diesem Apparat, so erfolgte die Rotation in entgegengesetztem Sinne. Ein Beweis, daß die Vertikal-Komponente des Erdmagnetismus die Ursache der ersten Rotation gewesen war.

172. Faraday glaubte später auch den Einfluß des Erdmagnetismus nachgewiesen zu haben auf Rotation von Stromteilen und bediente sich dazu folgenden Apparates. An einem 14″ langen, 0,045″ dicken Kupferdraht bog er an jeder Seite einen Zoll um, hing den Bügel an einen langen Seidenfaden an der Decke des Zimmers horizontal schwebend auf und ließ die umgebogenen Enden in zwei untergestellte Becken mit Quecksilber tauchen; sobald nun der Strom in eines der Becken von da durch den Draht und aus demselben wieder durch das zweite Becken zum Element zurückgeleitet wurde, bewegte sich der Draht sofort senkrecht zur Richtung des Stromes, so zwar, daß der Draht bei der Stromrichtung von West nach Ost sich nach Norden, bei umgekehrter nach Süden, bei Stromrichtung von Norden nach Süden sich nach Osten und umgekehrt nach Westen bewegte. Ob hierbei der Erdmagnetismus aber allein das Agens gewesen, erscheint sehr zweifelhaft. Dagegen gelang die Rotation eines beweglichen in der Richtung der Inklinationsnadel befindlichen Stromteiles nicht.[1])

173. Durch Faradays Bemerkungen und durch Angriffe anderer Physiker wurde nun Ampère veranlaßt, seine Theorie des Magnetismus auszuarbeiten. Ich habe berichtet, daß er

1) Gilbert, Annalen LXXII p. 121 ff.

ursprünglich geglaubt habe, die in einem Querschnitt eines Magneten zu supponierenden elektrischen Ströme seien koncentrisch. Schon im Januar 1821 habe er, schreibt Ampère, in einem am 11. Januar begonnenen, am 27. März 1822 beendeten Antwortschreiben an Herrn van Beek in Utrecht, die Meinung gehabt, daß die Ströme in einem Magneten als sehr kleine, um jedes Molekül kreisende Ströme zu denken seien. Er habe auch damals schon geschlossen, daß die Ströme bereits im Eisen, Nickel und Kobalt vor dem Magnetisieren vorhanden seien, nur in so verschiedenen Richtungen, daß aus ihnen keine Wirkungen nach außen resultieren, indem dann die einen anziehen, die anderen abstoßen. Gerade so wie Licht, welches aus nach verschiedenen Richtungen polarisierten Lichtstrahlen bestehe, keine Anzeichen von Polarisation gebe. Irgend eine Ursache nun, wie z. B. ein galvanischer Strom, die diese kleinen Molekularströme alle gleichrichte, mache dann aus Eisen etc. einen Magneten. Aus diesem Vorhandensein der Molekularströme erkläre es sich, daß das Magnetisieren eines Körpers keine Temperaturerhöhung bedinge, da es die elektrische Bewegung nicht vermehre. Ausdrücklich fügt Ampère zu: Beim Magnetisieren entstehe keine elekromotorische Wirksamkeit, sondern nur eine richtende.[1])

---

1) Journal de Physique, de Chimie etc. par M. H. Ducrotay de Blainville. Décemb. an 1821, T. 93, pag. 448 et 449.

Da diese Sache von größter Wichtigkeit ist, weil dies die heute ziemlich allgemein angenommene Theorie ist, und sowohl Wiedemann, wie mit ihm Wüllner etc. behaupteten, diese sogenannte Ampèresche Theorie sei nicht von Ampère, halte ich es für nötig, den Originalwortlaut hierher zu setzen. Der Artikel lautet: Réponse de M. Ampère à la lettre de M. van Beek auf pag. 448 heißt es: C'est de cette expérience, que j'ai conclu dans le temps où je l'ai faite, que les courans électriques, dont j'admettois déjà l'existence autour de chaque particule des aimans, existoient également autour des ces particules **avant l'aimantation** dans le fer, le nickel et le cobalt, mais que s'y trouvant dirigés en toutes sortes de sens, il n'en pouvoit résulter aucune action au-dehors les uns tendant à attirer ces que les autres repoussent, comme il arrive à de la lumière dont les divers rayons étant polarisés en tous sens ne présentent aucun signe de polarisation. Alors l'aimantation doit s'opérer toutes les fois qu'une cause tend à donner à tous ces courans une direction commune, en vertu de laquelle

174. Daß diese Ansicht über einen Magneten die richtige sei, machte ihm die von Faraday vergeblich herzustellen gesuchte Rotation eines Magneten um seine eigene Achse unter Einwirkung eines Stromkreises und desgleichen eines gradlinigen, beweglichen Stromteiles um seine Achse unter Einwirkung eines Magneten zur Gewißheit. Ampère versah einen cylindrischen Magnetstab an beiden Enden mit einem Schraubenloch, um beliebig in eines derselben ein Platingewicht einzuschrauben, welches den Stab in einem Cylindergefäße voll Quecksilber lotrecht und so tief eingetaucht schwimmend erhielt, daß nur $^1/_6$ der Länge aus dem Quecksilber herausragte. In die obere Vertiefung des Magneten gab er etwas Quecksilber und leitete

---

leurs actions sur un point situe à l'extérieur du corps s'ajoutent au lieu de s'entre-détruire. Il est alors tout simple qu'elle soit produite par l'action d'un aimant ou celle d'un fil conducteur à toutes les distances où elle se manifeste en donnant à une aiguille aimantée ou à une portion mobile de fil conducteur etc. Die gleiche Theorie findet sich auch in den Receuil d'Observ. electro-dynamique. 1822.

Allerdings sagt Ampère in der späteren „Theorie der electrodynamischen Erscheinungen" 1823 von dieser Theorie nichts. Man könnte also annehmen, daß er sie selbst wieder aufgegeben habe, da er die achte Schlußfolgerung anfängt mit den Worten: quand l'action d'un aimant etc. établit ce mouvement autour des particules d'un corps. Allein es fällt mir schwer, dies zu glauben, denn er spricht in demselben Absatz auch von der andern Theorie, wonach magnetische und elektrische Flüssigkeiten sich scheiden, ohne daß er eine der beiden gerade für seine Ansicht ausgiebt; es scheint mir vielmehr die erstere dieser beiden der Ansicht Aragos, die zweite der Poissons zu entsprechen, da Ampère sie mit diesen beiden Namen in Verbindung bringt. Daß die letztere Ansicht wirklich die von Poisson gewesen, geht aus der in demselben Bande der Mem. de l'acad. enthaltenen Arbeit Poissons „über die Theorie des Magnetismus in Bewegung" hervor. Ampères sonstige Arbeiten stehen mit obiger Theorie nicht in Widerspruch, doch lasse ich es einstweilen unentschieden, ob er dieselbe wirklich später wieder aufgegeben habe.

Nachdem dieser Teil des Manuskriptes bereits zum Druck gegeben war, teilte ich Herrn Geheimrat Wiedemann den Inhalt vorstehender Bemerkung mit, und war derselbe so gütig, mich darauf aufmerksam zu machen, daß er auf pag. 96 des inzwischen erschienenen 3. Bandes seiner „Lehre von der Elektrizität" bereits die frühere Behauptung richtig gestellt habe. Ich glaube jedoch, daß der Inhalt vorstehender Bemerkung auch so noch seinen Wert hat und entschloß mich daher, dieselben unverändert stehen zu lassen.

den Strom durch dieses, durch den Magneten und durch das Quecksilber des unteren Gefäßes; sofort begann der Magnet zu rotieren um seine Achse und änderte die Richtung seiner Rotation beim Ändern der Stromrichtung. Ja dasselbe gelang Ampère bei einem gewöhnlichen Messingdraht nachzuweisen, durch welchen er einen Strom leitete und auf welchen er einen Magneten wirken ließ. Letztere Rotation war freilich bedeutend schwächer.[1]) Beide Erscheinungen lassen sich aber ebenso wie die anderen Rotationserscheinungen von Magneten und Strömen unter Einwirkung auf einander ohne weiteres aus der ursprünglichen Ampèreschen Regel ableiten, wonach der Nordpol stets an der Linken liegen soll eines im Strom Schwimmenden, der ihn ansieht. Die Rotation um die eigene Achse erklärt sich bei einem Magneten dann sehr einfach durch die Annahme Ampères über die Natur des Magneten, den wir uns nur als ein Bündel einzelner Linienmagnete vorstellen müssen.

175. In demselben Jahre klärte Ampère auch die Frage auf, wie es kommt, daß der Magnetpol nicht am Ende des Magnetstabes, sondern von diesem etwas entfernt liegt. Er sagt[2]), es giebt zwei Möglichkeiten, dies zu erklären; entweder man kann annehmen, daß die Intensität der Molekularströme von der Mitte aus gegen das Ende hin abnehmen, dies ist aber sehr gesucht. Einfacher scheint die Erklärung aus dem Fallenlassen der früheren Annahme, daß die Ebenen der Molekularströme alle senkrecht stehen auf der Achse des Magnets, zu folgen. Die gegenseitige Einwirkung der Ströme auf einander muß vielmehr gegen die Enden der Magnete hin eine gegen die Achse geneigte Lage der Stromebenen bewirken, welche um so größer wird, je weiter man sich von der Achse entfernt; in dieser selbst stehen die Ebenen senkrecht auf ihr; je dicker aber der Magnet ist im Verhältnis zu seiner Länge, um so stärker wird die Neigung der am äußeren Rande liegenden Stromebenen gegen die Achse. Man kann sich dementsprechend einen Magneten ersetzt denken durch ein Bündel Drahtspiralen von ganz geringer Dicke, die in ihrer Mitte eng zusammengebunden sind, nach den Enden zu aber

1) Annales de Chimie et de Phys. Bd. 20, pag. 68 ff.
2) Annales de Chimie et Phys. Bd. 20, pag. 404.

wie eine Korngarbe auseinander gebogen erscheinen und wird durch Berechnung dann geradeso den Pol gelegen finden für dies Spiralenbündel, wie er bei einem Magneten empirisch nachgewiesen ist.

176. Es ist also das Hauptinteresse für Ampère, die Wirkungsweise zweier Ströme aufeinander kennen zu lernen; daraus muß sich die Wirkung zwischen Strom und Magnet ergeben, sowie zwischen Magnet und Magnet. Zunächst stellt er nun auch an einem größeren Apparat die konstante Rotation eines beweglichen Stromkreises unter Einfluß eines festen Stromkreises dar und zeigt, wie solche sich aus seinem Gesetz über Anziehen und Abstoßen gekreuzter Ströme sofort ergiebt, und führt hierbei zum erstenmale[1]) den Namen elektrodynamische Phänomene ein. Diese elektrodynamische Wirkung untersucht er nun analytisch; ausgehend von zwei kleinen irgendwo im Raume liegenden Stromelementen, setzt er voraus, daß die Anziehung oder Abstoßung proportional ist der Intensität der Ströme, d. h. der durch den Querschnitt in der Zeit 1 fließenden Elektrizitätsmengen, proportional der Länge der Ströme und endlich umgekehrt proportional ihrer Distanz; letzteres setzt Ampère zunächst ganz allgemein voraus und nimmt daher die $n$te Potenz derselben. Bezeichnen also i, i' die respektiven Intensitäten; ds, ds' die respektiven Längen der Stromelemente; r die Distanz derselben und ϱ eine Constante, so ist die Einwirkung zweier Elemente $= \frac{\varrho . i . i' , ds . ds'}{r^n}$. Jenachdem nun die Stromelemente parallel laufen senkrecht auf der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte, oder so, daß das eine in der Verlängerung des anderen liegt, wird ϱ verschieden sein. Man kann nun die Intensitäten so messen, daß $\varrho = 1$ ist, wenn die Stromelemente in der ersten Lage in der Distanz 1 voneinander sich befinden; dann ist für diese Lage die Wirkung gegeben durch

1) Annales de Chimie et de Phys. Bd. 20, pag. 60 und Mémoires l'Academie roy. de l'Institut de France an. 1823, erschienen 1827, pag. 184. Der Titel dieser 212 Seiten fassenden Arbeit lautet: Mémoire sur la théorie mathematique des phenomènes électrodynamiques uniquement deduit de l'experience etc., aus welcher das Folgende ein kurzer Auszug ist, und worauf sich die folgenden Citate beziehen.

$\frac{i.i'.ds.ds'.}{r^n}$ und dann mag dies ϱ für die zweite Lage $= k$ sein. Durch Zerlegung in Komponenten lassen sich dann alle beliebig gelegenen Stromelemente in ihren Wirkungen aufeinander auf diese Fälle zurückführen, da die Wirkung zweier senkrecht aufeinander gerichteter Stromelemente $= 0$ sein muß, wie Ampère apagogisch nachweist. Auf Stephans Bemerkung hierzu komme ich später.

Bezeichnen ϑ und ϑ' die Winkel, welche die Stromelemente mit der durch ihre Anfangspunkte gezogenen Distanzlinie r bilden und ω den Winkel, welchen die durch ds und r einerseits und ds' und r anderseits gelegten Ebenen miteinander bilden, so ist die aus der ersten Komponente resultierende Wirkung

$$= \frac{i.i'.ds.ds'.\sin\vartheta.\sin\vartheta'.\cos\omega}{r^n}$$

und die aus der zweiten Komponente resultierende

$$= k.\frac{i.i'.ds.ds'.\cos\vartheta.\cos\vartheta'}{r^n}.$$

Beide zusammen geben die Gesamtwirkung

$$w = \frac{i.i'.ds.ds'}{r^n}\,(\sin\vartheta.\sin\vartheta'.\cos\omega + k\cos\vartheta.\cos\vartheta').$$

Diese Formel vereinfacht sich durch Einführung des Winkels ε, welchen die Elemente ds und ds' im Raume machen und der bestimmt ist durch die Gleichung des sphärischen Dreiecks: $\cos\varepsilon = \cos\vartheta.\cos\vartheta' + \sin\vartheta.\sin\vartheta'\cos\omega$; setzt man dann $k - 1 = h$, so ist

$$w = \frac{i.i'.ds.ds'}{r^n}\,(\cos\varepsilon + h.\cos\vartheta.\cos\vartheta').$$

Das ist die Grundgleichung[1]), durch deren Transformation und geeigneten Anwendung auf zwei Experimente Ampère die noch vorkommenden Konstanten n und h bestimmt. Durch das Experiment fand nämlich Ampère, daß ein unendlich langer Strom auf zwei ihm parallele Ströme von der Länge l und l' gleiche anziehende oder abstoßende Wirkung ausübt, wenn

1) l. c. pag. 204.

die Längen dieser Ströme sich verhalten wie die Abstände von dem unendlich langen Strome. Es ist das der vierte Fall des Gleichgewichtes, welchen Ampère unterscheidet, und welchen er darstellte an drei Kreisströmen von verschiedenem Radius, von denen der eine beweglich war.[1]) Jamin hat dieses Experiment an geradlinigen Leitern ausgeführt.[2])

Eine zweite wichtige Thatsache ist der dritte Gleichgewichtsfall Ampères[3]), daß ein geschlossener Strom von beliebiger Form niemals eine Bewegung hervorruft auf einen von einem Strom durchflossenen Kreisbogen, der um eine durch seinen Mittelpunkt vertikal zum Kreise gehende Achse drehbar ist.

Auf die Art der Transformation der Gleichung, sowie auf die Anwendung dieser beiden Sätze hier einzugehen, verbietet mir der Zweck dieses Buches; ich verweise auf die umfangreiche Originalarbeit.

Das Resultat ist, daß $n = 2$ und $k = -\frac{1}{2}$ ist[4]), dann lautet die Gleichung:

$$w = \frac{1}{2} \frac{i.i'.ds.ds'.(2\cos\varepsilon - 3\cos\vartheta.\cos\vartheta')}{r^2}$$

$$= \frac{i.i'.ds.ds'}{r^2}\left(r\frac{d^2r}{ds.ds'} - \frac{1}{2}\frac{dr}{ds}.\frac{dr}{ds'}\right).$$

Dies ist das Ampèresche Grundgesetz der Elektrodynamik auf welches Weber dann weiter baute. Ampère wandte dieses Resultat nun an auf das Verhältnis eines Magneten zu einem Strom und findet auch theoretisch die Ersetzbarkeit eines Magneten durch eine vom Strom durchflossene Spirale, wofür er hier zum erstenmale das Wort Solenoid gebraucht.

177. Im Anschluß an diese Untersuchung legt sich Ampère später auch die Frage vor, wie muß ein Leiter liegen, damit überhaupt unter Einwirkung eines Magneten eine Rotation möglich ist.[5]) Analytisch geht er aus von der Wirkung

1) l. c. pag. 199.
2) Wüllner, Lehrbuch II. Aufl., Bd. IV. pag. 668.
3) l. c. pag. 194.
4) l. c. pag. 232.
5) Annales de Chimie et de Physique Bd. 37. pag. 113 ff.

eines Magnetpoles μ auf ein Leiterelement ds, welches mit der Entfernung r von μ den Winkel ω bilde, dann ist die Kraft

$$= \frac{\mu . ds \sin \omega}{r^2}.$$

Von dieser Kraft wirkt nur die Componente, welche senkrecht zur Verbindungslinie r ist. Diese Komponente möge mit der Richtung der Kraft den Winkel ε bilden, dann ist dieselbe

$$= \frac{\mu . ds \sin \omega . \cos \varepsilon}{r^2},$$

diese giebt ein Drehungsmoment um die Achse des Magneten, wenn r mit dieser einen Winkel ϑ bildet

$$= \frac{\mu . ds . \sin \omega . \cos \varepsilon . \sin \vartheta}{r},$$

durch eine geeignete Umformung, indem man alle vorkommenden Größen als Funktionen des Winkels ϑ auffaßt, geht dies Drehungsmoment über in $\mu\, d\vartheta . \sin \vartheta$. Integriert man über den ganzen Leiter, so erhält man als Drehungsmoment von dem Pole μ ausgeübt

$$= \mu (\cos \vartheta_2 - \cos \vartheta_1),$$

wenn ϑ_2 und ϑ_1 die Grenzwinkel sind. Für den Pol $-\mu$ ist analog das Drehungsmoment

$$= -\mu (\cos \vartheta'_2 - \cos \vartheta_1'),$$

also das gesammte Drehungsmoment

$$= \mu (\cos \vartheta_2 - \cos \vartheta_1 - \cos \vartheta_2' + \cos \vartheta_1').$$

Für einen geschlossenen Leiter außerhalb der Drehungsachse ist stets $\vartheta_2 = \vartheta_1$ und $\vartheta'_2 = \vartheta'_1$ also das Drehungsmoment $= 0$, es findet also keine Drehung statt.

Umschließt der geschlossene Leiter den Magneten, so ist $\vartheta_2 = \vartheta_1 + 2\pi$; $\vartheta'_2 = \vartheta'_1 + 2\pi$, also ebenfalls keine Rotation. Es darf demnach nur ein Teil des Schließungskreises drehbar sein.

Befinden sich beide Enden des drehbaren Teiles in der Achse des Magneten oberhalb oder beide unterhalb des Magneten, so sind alle Winkel 0, also das Drehungsmoment ebenfalls $= 0$; befinden sich die Enden zwischen den Polen, so ist $\vartheta_2 = \pi$ und $\vartheta_1 = \pi$; $\vartheta_2' = 0$; $\vartheta_1' = 0$, also auch das Drehungsmoment $= 0$; ist drittens das eine Ende oberhalb, das andere

unterhalb der Pole, so ist $\vartheta_2 = 0$; $\vartheta_1 = \pi$; $\vartheta'_2 = 0$; $\vartheta'_1 = \pi$, also die Summe der cos ebenfalls = 0; und ist endlich nur das eine Ende des Schließungsdrahtes oberhalb oder unterhalb des Magneten, so ist $\vartheta_2 = 0$; $\vartheta' = \pi$; $\vartheta'_1 = 0$; $\vartheta'_2 = \pi$, also hier ist das Drehungsmoment $= 2\mu$. Das ist also die einzige Lage, wo Rotation eintreten kann.

Neben diesen großartig wissenschaftlichen Untersuchungen verdienen die zahllosen Wiederholer dieser Versuche und Konstrukteure solcher Rotationsapparate, welche alle vom Ampèreschen entlehnten, keiner Erwähnung, die noch heute gebrauchten, sind fast durchweg von Ampère selbst.

178. André Marie Ampère war 1775 zu Lyon geboren, wurde dann Repetent an der polytechnischen Schule zu Paris, welche Stellung er jedoch aufgab, um in seiner Vaterstadt Privatlehrer der Mathematik zu werden. Von dort berief man ihn zum Professor der Physik nach Bourg, Dep. Ain, von wo er als Professor der Mathematik an die polytechnische Schule zu Paris zurückkehrte, welche Stellung er bald mit der Professur für Physik am College de France vertauschte. Seit seiner Rückkehr nach Paris war er Mitglied der Akademie. Er starb zu Paris 1836.

179. Es mögen hier nur noch die Rotationserscheinungen bei Flüssigkeiten, welche Davy entdeckte, kurz erwähnt werden. Davy[1]) tauchte nämlich die Drahtenden einer kräftigen Batterie in ein Quecksilbernäpfchen, sodaß der Strom teilweise durch das Quecksilber floß, sobald dann über das Quecksilber ein kräftiger Magnetpol gebracht wurde, fing dieses an um die Drahtenden zu rotieren, welche Rotation noch vermehrt wurde, sobald der entgegengesetzte Magnetpol unter den Apparat gebracht wurde. Noch drastischer zeigt sich diese Rotation von Flüssigkeiten an einem später von Fechner angegebenen Apparat, bei welchem um einen Magnetpol eine Kupferschale koncentrisch angebracht war; in dieselbe wurde ein koncentrischer Zinkring gesetzt und angesäuertes Wasser hineingethan, sofort beginnt letzteres seine Rotation um den Zinkring. Alle diese Erscheinungen erklären sich ohne weiteres aus der Ampère-

1) Phil. Transact. II. 1823. pag. 153.

schen Regel, angewandt auf einen festen Magnetpol und beweglichen Stromleiter.

180. Von dieser „Bewegung der Flüssigkeiten durch den galvanischen Strom", wie sie damals genannt wurde, ist aber wesentlich verschieden die wirkliche Bewegung der Flüssigkeiten beim Durchgang eines Stromes, welche wohl zuerst von Reuß 1809 beobachtet ist, dann aber von Wollaston[1]) 1810 genauer untersucht und auf den tierischen Organismus angewandt wurde. Von Porret dem Jüngeren wurde 1816 der Versuch selbständig wiederholt, daß nämlich, wenn zwei Flüssigkeiten durch eine poröse Wand (tierische Blase) getrennt wurde, sodaß für gewöhnlich eine Kommunikation nicht stattfand, sofort die eine Flüssigkeit durch die Membran getrieben wurde, wenn ein galvanischer Strom hindurchgeführt wird.[2]) Die Richtung, in welcher das Überströmen der einen in die andere stattfindet, folgt der Richtung der strömenden positiven Elektrizität. Es ist das die unter dem Namen „elektrischer Endosmose" bekannte Erscheinung.

181. Obwohl nun die genauere Behandlung dieser Erscheinung einer viel späteren Epoche angehört, will ich doch hier gleich die Sache zum Anschluß bringen, da sie später ganz unvermittelt eingereiht werden müßte. Später haben sich Daniel[3]) und Becquerel[4]) der ältere nebenbei mit dieser Frage beschäftigt, ohne viel neues zuzufügen, außer der Beobachtung Becquerels, daß die elektrische Endosmose auch Teilchen des porösen Diaphragmas mitführte, daß schwefelsaures Wasser die Erscheinung nicht zeige und Salzlösungen besonders geeignet seien. Im Juli 1846 wandte sich Napier[5]) dieser Frage zu und unterschied sichtbare und unsichtbare Endosmose, unter ersterer die Überführung der Flüssigkeiten verstehend, unter letzterer die Mitführung der Salzteile, also Koncentrationsänderung. Es mag noch dahin gehören die Beobachtung Arm-

…ert, Annalen, XXXVI. 1810. pag. 1.
…rt, Annalen, LXVI. 1820. pag. 272.
…, Annal. Ergänzungsb. I, pag. 569.
… de l'Élektr. et du Magnet. T. III. 1835.
…Mag. Juli 1846.

strongs[1]), daß bei seiner starken hydroelektrischen Maschine eine Bewegung des Wassers zu den negativ elektrischen Bestandteilen der Maschine beobachtet werden konnte.

182. Abschließend war die Arbeit von Wiedemann[2]), dessen Resultate sich in folgendem zusammenfassen lassen. Der Apparat war nach Art der Elemente zusammengesetzt, die beiden Flüssigkeiten durch eine poröse Thonzelle getrennt. Als Flüssigkeiten wurden angewandt: Wasser und Kupfervitriol, Zinkvitriol, Lösung von schwefelsaurem Kali, schwefelsaurem Natron etc. Auch Alkohol zeigte die Erscheinung stärker als Wasser, verdünnte Schwefelsäure, wie auch bei Becquerel, verhielt sich passiv. Stets war die Bewegung von der positiven Elektrode zur negativen durch die Zellwand hindurch. Endosmotische Ursachen (in mechanischem Sinne), bei der allmählichen Zersetzung der Flüssigkeiten durch den Strom ja immerhin möglich, waren wegen der lebhaften Bewegung als Gründe ausgeschlossen. Die treibende Kraft liegt also lediglich in dem Strome selbst. Die äußere Elektrode war positiv, die in der Thonzelle also negativ; dann gelten folgende Sätze:

„1. Die Menge der in gleichen Zeiten durch den Strom in den Thoncylinder hineingeführten Flüssigkeit ist direkt proportional der Intensität des Stromes. 2. Sie ist unabhängig von der Oberfläche der porösen Thonwand. 3. Bei gleicher Intensität des Stromes ist die in gleichen Zeiten durch verschieden dicke Platten geführte Flüssigkeitsmenge gleich."

Verband Wiedemann den inneren Thoncylinder luftdicht mit einem Manometer, so galt folgendes: „1. Die Druckhöhen, bis zu welchen die Flüssigkeiten aufsteigen, sind proportional den Intensitäten der Ströme. 2. Die Druckhöhen sind bei demselben Strom unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt proportional der freien Oberfläche des Thoncylinders. (Freie Oberfläche heißt die, durch welche die Überführung stattfand.) 3. Die Druckhöhen sind direkt proportional der Dicke der Thonwand unter sonst gleichen Umständen; 4. ebenfalls direkt proportional den spezifischen Widerständen."

---

1) Pogg. Annal. Bd. 50. pag. 352. 1840.
2) Pogg. Annal. Bd. 87. pag. 321. 1852.

Um in das Wesen der Sache etwas einzudringen, wählte Wiedemann den Fall, daß eine poröse Thonwand zwischen zwei eine Spannungsdifferenz repräsentierende Metallplatten gebracht wird, die durch einen kurzen Draht außerhalb der Flüssigkeit verbunden sind, dann gilt das Gesetz:

„daß eine elektrische Spannung, welche an beiden Seiten einer in eine beliebige Flüssigkeit eingesenkten porösen Wand vorhanden ist, die Flüssigkeit von der positiven zur negativen Seite mit einer Kraft fortführt, die einem jener Spannung direkt proportionalen hydrostatischen Drucke gleich ist.“

Dies letzte Gesetz läßt sich allgemein für jeden beliebigen Querschnitt einer Flüssigkeitszelle auch ohne poröse Schicht aufstellen. Es repräsentiert den Ausspruch der Gültigkeit des weiter unten zu entwickelnden Ohmschen Gesetzes auch für den Durchgang durch Flüssigkeiten.

Drittes Kapitel.

Thermoströme.

183. Wir wenden uns nun den Untersuchungen Seebecks in Berlin zu, welcher in derselben Zeit, als Ampère seine Fundamentalversuche anstellte, seine große Entdeckung der Thermoelektrizität machte, die bisher deswegen nicht erwähnt wurde, um die Ampèreschen Versuche mit den dazu gehörigen Beobachtungen im Zusammenhange darstellen zu können.

Wir haben Seebecks bereits gedacht bei der Zersetzung der alkalischen Lösungen durch den galvanischen Strom, und bei seinen Untersuchungen über magnetische Wirkungen des Stromes. Wir haben da gesehen, daß Seebeck im Gegensatz gegen Ampère den Magnetismus als Ursache der Elektrizität nahm und deswegen von magnetischer Atmosphäre sprach, die den Leitungsdraht umhüllte. So unglücklich Seebeck auch in seinen theoretischen Ansichten war, so sind seine experimentellen Resultate, über die Wirkungsweise des Poggendorffschen Multiplikators doch sehr beachtenswert. Im Anschluß an jene Untersuchungen, welche Seebeck bis in den Sommer [illegible] schäftigten, veröffentlichte er nun die Arbeit, welche [illegible] eckung der Thermoelektrizität enthielt.

Seebeck[1]) schloß aus seinen ersten Versuchen, daß bei einem galvanischen Strom „nicht sowohl die Aktion an den Berührungsstellen zweier Metalle miteinander, als vielmehr die Ungleichheit der Aktionen an den Berührungsstellen der Metalle mit den feuchten Leitern die magnetische Polarisation (das soll heißen: den galvanischen Strom) der ganzen geschlossenen Kette begründe“. Daher glaubte er, daß der feuchte Leiter entbehrlich sei zu einem Strom, wenn man nur anderweitig dafür sorge, daß die Ungleichheit der Berührungsstellen entstehe. Das glaubte er zunächst durch Oberflächenverschiedenheiten der Berührungstellen darthun zu können. So machte Seebeck denn Ende Juli 1821 (nicht erst 1823, wie gewöhnlich zu lesen ist) den Versuch, daß er eine Kupferscheibe auf eine Antimonscheibe setzte und diese zwischen die Enden eines aus Kupferdraht konstruierten Multiplikators brachte. Hierbei machte er die Bemerkung, daß nur dann ein Strom entstehe, wenn er den Kupferdraht mit der Hand gegen die Antimonscheibe drücke, nicht aber wenn er dazu trockene oder feuchte Körper benutze. Durch einige Versuche zeigte sich Seebeck bald, daß die Erwärmung des Drahtes durch die berührende Hand die Ursache des Stromes sei.

Das nächste Resultat aus seinen Versuchen spricht Seebeck dahin aus, daß die Differenz der Temperatur an den beiden Berührungspunkten der Metalle die Ursache des Stromes sei. Durch künstliche Erkältung einer Berührungstelle ist also ebenfalls ein Strom zu erhalten, dessen Richtung aber dem entgegengesetzt ist, der durch Erwärmen erhalten wird. Die Intensität des Stromes ist proportional der Differenz der Temperaturen an den Berührungspunkten. Seebeck wandte eine Kältemischung von zwei Teilen Schnee und drei Teilen salzsauren Kalk an und erzeugte eine Temperaturerniedrigung auf — 38° R. Damit ein Strom entstehe, war eine völlige Berührung notwendig, er trat aber auch ein, wenn das eine Metall geschmolzen wurde und zeigte sich auch dann noch bei zunehmender Temperatur eine Zunahme der Stromstärke. Doch

1) Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1822 bis 1823, erschienen 1825. pag. 265—373.

zeigte sich das nicht allgemein, es konnte der Fall eintreten, daß bei fortgesetzter Temperaturzunahme ein Stillstand oder gar eine Abnahme der Stromstärke auftreten konnte.

Später, im Jahre 1856, hat Thomson sogar die Umkehr des Stromes beobachtet[1]) und gezeigt, daß diese Umkehr nicht nur von der Temperaturdifferenz der Berührungsstellen abhängt, sondern, daß es für zwei sich berührende Metalle eine bestimmte Temperatur giebt, für welche, wenn die Temperatur einer Berührungsstelle ebensoviel über dieser festen Temperatur, wie die der anderen darunter gehalten wird, eine Umkehr des Stromes eintritt. Auf diese Thomsonsche Erfahrung gestützt, hat dann Avenarius[2]) eine theoretische Begründung dieser Erscheinung gegeben.

184. Schon Seebeck sagt[3]), daß an jeder Berührungsstelle eine elektromotorische Kraft wirke, die bei gleichzeitiger Erwärmung beider, Ströme in entgegengesetzter Richtung bewirken, wie ja auch bei den Voltaschen Versuchen bei der Berührung zweier Metalle stets eine Scheidungskraft bestehe. (Seebeck spricht selbstverständlich auf Grund seiner Theorie überall von magnetischer Spannung etc., wo ich elektromotorische Kraft und dergleichen setze.)

Die gleiche Basis hat Avenarius, er nimmt nun die elektromotorische Kraft E an als Funktion der Temperatur t, sodaß, wenn a, b, c drei Konstanten sind,

$$E = a + bt + ct^2$$

ist an der einen Berührungsstelle, während an der andern

$$E_1 = a + bt_1 + ct_1^2$$

ist. Die für den Strom wirksame Kraft ist dann

$$E - E_1 = b(t - t_1) + c(t^2 - t_1^2) = (t - t_1)\{b + c(t + t_1)\}.$$

Dieser Ausdruck ist $= 0$, wenn entweder $t = t_1$ ist, das ist der von Seebeck beobachtete Fall, oder wenn

$$b + c(t + t_1) = 0 \text{ ist, d. h. } t + t_1 = -\frac{b}{c},$$

dies der von Thomson beobachtete Fall. Für Beobachtung und

1) Phil. Transact. 1856.
2) Pogg. Annal. Bd. 119. pag. 406. 1863.
3) l. c. pag. 273.

Berechnung findet Avenarius nahezu die gleichen Werte für die Stromstärken, später[1]) auch für direkte Untersuchung am Kondensator, sodaß seine Annahme über E einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich hat.

185. Analog wie bei der Voltaschen Spannungsreihe stellt Seebeck nun die Metalle auch in eine Reihe, sodaß die positive Elektrizität in der erwärmten Berührungsstelle von dem oberen zum unteren strömt, die Reihe heißt[2]):

Wismut	Messing Nr. 2	Silber
Nickel	Platina Nr. 2	Zink
Kobalt	Quecksilber	Kupfer Nr. 3
Palladium	Blei	Wolfram
Platina Nr. 1	Zinn	Platina Nr. 4
Uran	Platina Nr. 3	Cadmium
Kupfer Nr. 0	Chrom	Stahl
Mangan	Molybdän	Eisen
Titan	Kupfer Nr. 2	Arsenik
Messing Nr. 1	Rhodium	Antimon
Gold Nr. 1	Iridium	Tellur.
Kupfer Nr. 1	Gold Nr. 2	

Im Ganzen 35 Körper. Im Wesentlichen ist die Reihe später so bestätigt von Hankel; daß geringe Verschiedenheiten in der chemischen Konstitution eine ganz veränderte Stellung in der Reihe bedingen, sieht man aus der Reihe selbst. Ein Spannungsgesetz wie das Voltasche nachzuweisen ist Seebeck nicht gelungen. Erst Becquerel konnte innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen auch eine thermoelektrische Spannungsreihe aufstellen, die durch Wiedemann eine geringe Veränderung erfuhr; beide gehen aus von der thermoelektrischen Kraft zwischen Kupfer und Zink = 1. Dann sind die Werte Wiedemanns durchgehends etwas höher wie die Becquerelschen, welche sie fanden für Eisen in Berührung mit anderen Metallen.

186. Seebek untersucht die Verstärkung des Stromes durch mehrere hintereinander eingeschaltete gleiche Elemente;

1) Pogg. Annal. Bd. 122. pag. 193. 1864.
2) l. c. pag. 284.

er konstruiert also die thermoelektrische Säule, indem er nun z. B. Wismut, Antimon, Wismut, Antimon etc. sich berühren läßt und eine um die andere Berührungsstelle erwärmt, findet er, daß die erhaltene Stromstärke nicht proportional der Anzahl der erwärmten Berührungsstellen wächst, sondern, daß ein Teil verloren zu gehen scheint, wegen des durch die Einschaltung des längeren Drahtes vermehrten Leitungswiderstandes, daß es also eine Grenze giebt, über welche hinaus man die Empfindlichkeit einer solchen Kette oder Säule nicht zu steigern vermag.

187. Es läßt sich ebenfalls ein Thermoelement aus Metalllegierungen herstellen, doch nehmen die Legierungen nicht die Stelle zwischen den sie bildenden Metallen in der Spannungsreihe, sondern ihnen ganz besonders zukommende Plätze ein, die durch das Experiment erst bestimmt werden müssen.

Auch aus einem einzigen Metall lassen sich wirksame Thermoelemente herstellen, selbst wenn ein Ring aus einem Metall, in einem Stück gegossen wird, doch zeigten sich Seebeck bei genauer Untertersuchung, daß nur einzelne Stellen solcher Ringe einen Strom beim Erwärmen liefern, während andere indifferent sind; letztere sind die homogenen Stellen, erstere die Stellen, wo sich die chemische Konstitution ändert. Oft sind diese Unterschiede auch nur physikalischer Art, bestehend in Härteverschiedenheiten oder Verschiedenheit der molekularen Anordnung. Becquerel[1]) glaubte auch nachgewiesen zu haben, daß, wenn ein dünner und dicker Draht sich berühren, dies ein wirksames Thermoelement sein könne, indem er in einen Draht einen Knoten schlug und beim Erwärmen kurz vor dem Knoten einen Strom erhielt. Allein Magnus[2]) hat gezeigt, daß Becquerel sich irrte, und daß das Entstehen des Stromes auf Härteverschiedenheiten zurückzuführen ist, oder, wie Wiedemann[3]) zeigte, auf oberflächlichen Kontakt heißerer und kälterer Stücke des Drahtes in den Berührungspunkten des Knotens. Daß überhaupt die Dicke der sich berührenden Kör-

---

1) Pogg. Annal. Bd. 17. pag. 535. 1829.
2) Pogg. Annal. Bd. 83. pag. 469. 1851.
3) Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität II, pag. 313. 1883.

per, also die Größe der Oberfläche an der Berührungsstelle, keine Rolle spielt bei der Erregung des Stromes, hat schon Seebeck gezeigt, indem er bei großer und kleiner Berührungsoberfläche die gleiche Stromstärke erhielt.

188. Bei dieser Gelegenheit machte Seebeck auch eine Wiederholung der Voltaschen Spannungsreihe und fand die Reihe in folgender Form[1]):

Zink, Blei, Zinn, Antimon, Wismut, Eisen, Kupfer Nr. 2, Platin Nr. 1, Silber,

wobei zu bemerken ist, daß Blei nur im polierten Zustande diese Stelle einnimmt; ist die Oberfläche rauh, so gehört Blei unter Zinn. Später ist besonders von Pfaff[2]) die Reihe einer genaueren Untersuchung unterworfen und die Reihenfolge dahin geändert, daß hinter den drei ersten: Eisen, Wismut, Antimon, Kupfer, Silber, Platin an die Stelle zu setzen gewesen wäre.

189. Den Schluß der Seebeckschen Arbeit bildet eine Betrachtung über den Erdmagnetismus, welchen Seebeck darstellen zu können glaubt durch die Annahme von Thermoströmen, wofür er ein Experiment an einer hohlen gegossenen Antimonkugel als Stützpunkt anführt. Die Kugel zeigte nämlich an einzelnen Stellen erwärmt eine entschiedene Polarität. Bei der Anwenduug auf die Erde meinte Seebeck als Wärmequellen die Vulkane annehmen zu sollen, die miteinander durch Metallgänge oder sonstige Leiter in Verbindung ständen.

190. Praktische Verwendung haben die Thermoströme vor allem nach zwei Richtungen hin gefunden, einmal zum Messen von Temperaturen. Schon Oerstedt konstruierte eine Säule 1823, um damit die Wärmestrahlung zu beobachten. Diese Methode ist besonders in Aufnahme gekommen, seit Nobili 1834 seine Säule und den nach ihm benannten Apparat zur Beobachtung der Wärmestrahlung konstruierte. Aber auch zur Temperaturmessung von Körpern, in welche die eine Lötstelle eines Eisen-Neusilberelementes gesteckt wird, ist das Thermoelement sehr geeignet und seit Poggendorffs Vorschlag 1840 vielfach angewendet. Anderseits ist die Thermosäule als Stromquelle

---

1) l. c. pag. 295.
2) Pogg. Annal. Bd. 51. pag. 110 und 197.

benutzt, seit Oerstedt sie im angeführten Jahre benutzte zur chemischen Zersetzung und zur Erwärmung von Drähten. Dazu gehören starke Ströme, und verwendet man dann besonders die Säulenkonstruktion von Noë aus Neusilberdrähten mit Stäben aus Zink-Antimonlegierung 1871, oder die von Mure und Clamond 1869 nach Hankels Vorschlag erbauten Säulen aus Bleiglanz und Eisen. Es möchte jedoch nach den bisherigen Erfahrungen nicht rentabel sein, auf diese Weise starke Ströme zu erzeugen, sie sind nur bequemer herzustellen als durch Elemente und sehr konstant.

191. In diesen Zeitabschnitt fallen auch die Untersuchungen Nobilis und Becquerels über Thermoströme bei Flüssigkeiten. Becquerel[1]) hatte 1823 die Beobachtung Ritters wiederholt, daß bei Berührung zweier verschieden warmer Drähte von verschiedenem oder gleichem Metall ein Strom entsteht. Ritter[2]) hatte seine Beobachtung 1798 am Froschschenkel gemacht, Becquerel machte sie am Multiplikator. Die Richtung dieses Stromes ist je nach der chemischen Beschaffenheit der Drähte verschieden, bald vom kalten zum warmen, bald umgekehrt; sind die Drähte chemisch gleich, so geht der Strom vom warmen zum kalten. Auch Nobili beschäftigte sich damit, doch sind die Resultate bis zu der Arbeit von Magnus[3]) 1851 sehr unzuverlässig, da durch das Erwärmen in den Drähten Strukturveränderungen eintreten, oder gar, wie besonders beim Eintauchen in Quecksilber, chemische Veränderungen. Ja es ist sogar wahrscheinlich, daß diese Veränderungen die Hauptursache des Stromes sind, wie schon Becquerel im Jahre 1834 bemerkte, denn es ist durch Magnus außer Zweifel, daß reines Quecksilber erwärmt und mit kaltem in Berührung gebracht keinen Strom liefert. Es spielt also die beim Erwärmen der Drähte leicht entstehende Oxydschicht eine wichtige Rolle bei diesen Versuchen, indem sie mit dem nicht oxydierten Eisen im Innern ein Thermoelement bildet und es also nur eines metallischen Schlusses bedarf, um einen Strom zn erhalten.

---

1) Ann. de Chim. et Phys. XXIII. pag. 140.
2) Gilbert, Annal. IX. pag. 292.
3) Pogg. Annal. Bd. 83. pag. 469.

Dies ist durch Versuche von Franz, Gaugain und Fleeming Jenkin außer Zweifel gesetzt.[1])

Ebenso zweifelhafter Natur sind die Versuche Nobilis[2]), durch welche er Thermoströme zwischen Metallen und Flüssigkeiten beobachtete; es sind hier die chemischen Einflüsse jedenfalls noch bedeutend stärker wie bei Berührung von Metallen allein, und gehen die Ströme wesentlich aus von den an der Metallfläche sich bildenden Gasschichten oder verdichteten Flüssigkeitsschichten. Einige neuere Forscher, z. B. Hoorweg, gehen so weit, die Mitwirkung des Metalls bei diesen Strömen ganz zu leugnen. Wesentlich mit durch chemische Veränderungen sind bedingt die von Nobili gleichzeitig mit entdeckten Ströme zwischen nichtmetallischen Flüssigkeiten (l. c.). Die besten Untersuchungen in dieser Beziehung rühren von Wild[3]) her, der freilich von der Voraussetzung ausgeht, es mit ganz reinen Thermoströmen zu thun zu haben, was wohl nicht ganz der Fall ist.

Viertes Kapitel.

Abschluß der Untersuchungen dieses Zeitraums.

192. In den vorstehenden Seiten glaube ich die wichtigsten Arbeiten über Galvanismus dargestellt zu haben, ich habe mich nur auf das Wichtigste beschränkt; daß dabei ganze Theorien, wie die von Erman über diagonale Zerlegung des Magneten, oder die von Prechtl über Transversalmagnetismus, nicht berücksichtigt sind, wird jeder verzeihen, der die betreffenden Bände von Gilberts Annalen durchliest. Wir wenden uns bei der Fortführung der Geschichte zunächst wieder den noch in diesen Zeitabschnitt fallenden elektrostatischen Untersuchungen zu.

Es war bisher wohl gezeigt, wie auch durch die Entladung einer Kleistschen Batterie oder auch einer Elektrisiermaschine Magnetisierung einer Stahlnadel erzeugt werden könne durch

---

1) Wiedemann, Lehre von der Elektrizität II. pag. 310.
2) Schweigg. Journal LIII. 1828. pag. 271 und 273.
3) Pogg. Annal. Bd. 103. 1858. pag. 353.

Arago und Yelin, allein es fehlte noch die Analogie zwischen galvanischen Strom und Reibungselektrizität in Bezug auf die Ablenkung der Magnetnadel. Diesen Schlußstein der Untersuchung fügte Colladon[1]) dem Baue ein. Mit dem einfachen Leitungsdraht hatten schon viele experimentiert, ohne zu einem Resultat zu gelangen; Colladon wandte den Multiplikator an. Die Drähte waren mit Seide übersponnen und wurden außerdem durch Lack voneinander isoliert, so daß die Elektrizität gezwungen war, die ganze Anzahl der Windungen der Länge nach zu durchlaufen. Das eine Ende des Drahtes verband Colladon mit der äußeren Belegung einer aus 30 Flaschen bestehenden Batterie, während das andere mit einer scharfen Spitze versehen dem Knopfe der inneren Belegung genähert wurde; dadurch wurde die plötzliche Funkenentladung vermieden und es trat eine langsame Strömung in konstanter Richtung ein, welche der Ampèreschen Regel entsprechend die Magnetnadel ablenkte. Die gleiche Ablenkung ergab sich, wenn Colladon die Enden des Multiplikators mit dem Reibzeug und dem Konduktor einer gewöhnlichen Nairneschen Cylinderelektrisiermaschine verband. Messende Versuche konnte Colladon aber auf diese Weise nicht ausführen, diese wurden erst von Faraday und dann vollständiger von W. Weber ausgeführt, worauf ich seiner Zeit zurückkommen werde.

193. Das Galvanometer oder der Multiplikator, wie ihn Colladon benutzte, war übrigens um diese Zeit bereits wesentlich verbessert. Ich habe schon angegeben, wie Ampère die richtende Kraft des Erdmagnetismus beseitigte, um die Magnetnadel empfindlicher zu machen. Nobili[2]) kam auf den sehr glücklichen Gedanken, ein astatisches Nadelpaar, bestehend aus zwei Nadeln von gleichem magnetischen Moment, welche durch eine feste Achse, die durch ihre Mittelpunkte ging, in einiger Distanz voneinander in paralleler Lage verbunden waren, so daß die Pole entgegengesetzt gerichtet waren, mit dem Multiplikator zu verbinden. Hing er ein solches astatisches Paar auf, so war die

---

[1]) ...ales de Chimie et de Phys. XXXIII. pag. 62.
[2]) ...h. univers. XXIX. 1825, die astatischen Nadeln waren ...père erfunden, cf. pag. 211.

Wirkung des Erdmagnetismus auf beide Nadeln = 0, und die richtende Kraft des elektrischen Stromes hat nur das entgegenstehende Drehungsmoment durch die Torsion des Fadens zu überwinden. Wird nun ein Leitungsdraht zwischen beiden Nadeln angebracht, sodaß die eine über die andere unter demselben sich befindet, so ist die Ablenkung, welche der Strom auf die Nadeln ausübt, nach dem Ampèreschen Gesetz für beide Nadeln gleich. Diesen Umstand benutzt Nobili, indem er die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere oberhalb derselben anbringt; es muß dann selbstverständlich der Rahmen, auf welchen der Draht gewickelt ist, durchbohrt sein, damit die die Nadeln verbindende Achse freibeweglich hindurchgehe. Die oberhalb der Windungen schwingende Nadel dient dann gleichzeitig zum Ablesen des Ablenkungswinkels, indem dieselbe über einer geteilten Kreisscheibe spielt. Er wandte diesen verbesserten Multiplikator an auf die Untersuchung tierischer Elektrizität; doch davon später.

194. Nobili, welcher zuerst Artilleriekapitän zu Reggio war, vorher schon in Modena und Brescia, später Professor der Physik zu Florenz, geb. 1784, fing erst mit seinem vierzigsten Lebensjahre an, sich mit elektrischen Untersuchungen zu beschäftigen und leistete in der kurzen Zeit bis zu seinem 1835 erfolgten Tode auf diesem Gebiete sehr viel.

Im Jahre 1826 entdeckte er die nach ihm benannten Ringe. Ich habe seiner Zeit Pristleys Ringe erwähnt, welche derselbe erhielt, wenn er einen Funken auf eine polierte Metallfläche schlagen ließ; ich habe dann erwähnt, wie Ritter die Funken beim Schließen und Öffnen des galvanischen Stromes durch Quecksilberkontakt herstellte. Dabei beobachtete er, wenn der Funke vom Quecksilber zum berührenden Draht ging, an der Stelle einen Stern von schwarz oxydiertem Quecksilber; ging der Strom aber umgekehrt, so entstand kein Stern, sondern ein runder Fleck oder ein Ring. Ritter machte auf die Analogie mit den Lichtenbergschen Figuren aufmerksam, während Pfaff und v. Marum die Sterne und Ringe als Quecksilberhydrat erkannten. Nobili[1]) wie-

1) Annales de Chimie et de Phys. Bd. 34, 1827 pag. 192 und Bd. 37. 1828. pag. 211.

derholte diese Versuche, indem er auf eine polierte Metallfläche, die mit dem einen Pol eines Voltaschen Elementes verbunden war, irgend eine Salzlösung goß, durch welche der Funke hindurchging; so entstanden dem Draht gegenüber die schönsten Farbenringe auf der Platte, einerlei ob die Platte mit dem positiven oder dem negativen Pole verbunden ist. Nobili nannte die Erscheinung Metallochromie und wollte die Elektrizität wesentlich mitwirken lassen zur Erklärung der Farben, indem er sich die Elektrizität nach Art des Lichtäthers wie bei den Newtonschen Farbenringen refraktiert und reflektiert dachte.

195. Faraday zeigte jedoch 1837, daß die Regenbogenfarben entstehen durch verschiedendicke Niederschläge der galvanischen Zersetzungsprodukte der auf den Platten befindlichen Lösungen, eine Erklärung, die durch Fechners Untersuchung über die Farbenringe auf einer Silberplatte unter Kupfervitriol[1]) eine wesentliche Stütze erhielten. Die Ringe, welche so entstehen, sind mit einer scharfen Säure, hauptsächlich durch Salpetersäure, wieder zu vertilgen. Der Versuch Becquerels des Jüngern[2]) aber, diese Ringe unter ein Gesetz zu bringen, daß nämlich die Dicke der Schichten umgekehrt proportional sei den Enfernungen von dem Berührungspunkte und daher die Farbenringe die umgekehrte Reihenfolge der Newtonschen besäßen, hat sich als unhaltbar erwiesen durch die Untersuchungen von W. Beetz und E. du Bois-Reymond.[3])

V. Von Ohm bis zum Gesetz der Erhaltung der Kraft 1827—1847.

Erstes Kapitel.

Das Ohmsche Gesetz.

196. Bald nachdem Ampère seine glänzenden Entdeckungen gemacht hatte, folgte ihm ein Deutscher mit einer gleich

1) Schweigg. Journal. Bd. 55. 1829. pag. 442.
2) Annales de Chimie et de Phys. S. III. Bd. 13. 1845. pag. 342.
3) Pogg., Annal. Bd. 71. 1847. pag. 71 und 79.

wichtigen, die für das Wesen des galvanischen Stromes von äußerster Wichtigkeit bis auf den heutigen Tag ist. Die Erfindung wird gemeiniglich unter dem Namen das „Ohmsche Gesetz“ zusammengefaßt.

Georg Simon Ohm war zu Erlangen 1787 geboren, und wandte sich dem Studium der Mathematik und Physik zu. Für diese Fächer wurde er zunächst Lehrer an der Schule zu Nidau im Kanton Bern, dann zu Neufchatel und darauf zu Bamberg bis 1817. In dem Jahre wurde er Oberlehrer am Gymnasium zu Köln und 1826, dem Jahre der Entdeckung seines Gesetzes, an der allgemeinen Kriegsschule zu Berlin. 1833 wurde er als Professor an die polytechnische Schule zu Nürnberg berufen und endlich berief man ihn 1849 an eine Universität als Extraordinarius, nach München nämlich, wo man ihn zwei Jahre vor seinem Tode im Alter von 65 Jahren zum ordentlichen Professor machte, er starb 1854 in München.

197. Ohm untersuchte die Leitungsfähigkeit der Metalldrähte für den galvanischen Strom. Ich habe seiner Zeit berichtet von den Untersuchungen Davys, welcher die Leitungsfähigkeit durch die schnellere oder weniger schnelle Erwärmung bestimmte. Ohm gebrauchte nicht diese Methode, welche unter der Voraussetung, daß die Erwärmung sich umgekehrt verhalte wie das Leitungsvermögen, Davy folgende Reihenfolge der Leiter gegeben hatte: Silber, Kupfer, Blei, Gold, Zink, Zinn, Platin, Palladium, Eisen.[1])

Ohm beobachtete die Ablenkung[2]) einer Magnetnadel durch einen Strom derselben Quelle bei Einschaltung verschiedener Leitungsdrähte. Die Anordnung war, daß die Polenden eines Elementes in zwei Quecksilbernäpfe A und B geleitet wurden, von einem derselben, A, ging ein Draht durch ein Galvanometer in einen dritten Napf mit Quecksilber, C. Nun wurde zwischen B und C durch verschieden lange Leiter der Strom geschlossen und die Ablenkung der Nadel abgelesen im Galvanometer. Ohm nahm die Kraft, mit welcher der Strom die Nadel ablenkte, wenn B und C durch einen ganz kurzen

1) Gilbert, Annal. LXXI. 1822. pag. 259.
2) Schweigg. Journ. XLIV. 1825. pag. 110.

$^1/_2$ Fuß langen sehr dicken Draht geschlossen war, als Normalkraft und bestimmte den mittleren Kraftverlust v, bei Einschaltung eines 0,3 Linien dicken Drahtes von den Längen

1, 3, 6, $10^1/_3$, 23 Fuß

zu 0,12; 0,28; 0,35; 0,43; 0,58.

Ohm glaubte nun diese Resultate darstellen zu können durch die Formel: $v = m . \log. \left(1 + \frac{x}{a}\right)$, wo v eben jener Kraftverlust, m eine Funktion der Normalkraft, der Dicke des Leiters, der Länge des unveränderlichen Leiters und der elektrischen Spannung, wo a die Länge der festen Leitung von C über A bis B und x die des veränderlichen zwischen C und B gerade eingeschalteten Leiters ist.

Diese Beobachtung führte Ohm nun aber zu einer wichtigen Entdeckung,[1] der nämlich, daß die elektrische Kraft einer geschlossenen Kette gleich nach Schluß derselben am schnellsten abnimmt und endlich zu einem Minimum kommt. Durch Öffnen der Kette auf längere Zeit erhält sie ihre ursprüngliche Kraft wieder. Diese Entdeckung machte Ohm nun auch die von Wollaston beobachtete Erscheinung klar, daß ein dünner Draht, welcher durch einen galvanischen Strom glühend gemacht war, nun aber nicht mehr glühte, wieder glühend wird, wenn man den Strom eine Zeitlang unterbrochen hat. Ohm schreibt dies richtig einer Polarisation im Element zu, er und besonders Fechner haben dies etwas später ganz ausführlich untersucht.

Zunächst wendet sich Ohm der Bestimmung der Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle zu, indem er von gleich dicken Drähten verschiedener Substanzen solche Längen einschaltet, daß die Ablenkungen der Nadel die gleiche bleibt. Er findet die Reihenfolge vom besten zum schlechtesten Leiter also: Kupfer, Gold, Silber, Zink, Messing, Eisen, Platin, Zinn, Blei[2] und findet, daß das Kupfer etwa $10^1/_2$ mal so gut leitet als das Blei.

---

1) Schweigger, Journal XLIV. 1825. pag. 116.
c. pag. 246.

198. Im folgenden Jahre giebt Ohm in seiner klassischen Abhandlung über die Leitung der Elektrizität durch Metalle die Zahlenwerte der Metalle: Kupfer 1000, Gold 574, Silber 356, Zink 333, Messing 280, Eisen 174, Platin 171, Zinn 168, Blei 97.[1])

Ich bemerke, daß die Stellung des Kupfers, Goldes und Silbers hier eine verkehrte ist, während die übrigen sich den späteren Beobachtungen wohl anschließen, es ist nach diesen zweifellos, daß Silber besser leitet wie Kupfer und Gold; da an eine Verwechslung kaum zu denken ist, wird das Ohmsche Silber nicht rein gewesen sein.

Bei Untersuchung der Leitungsfähigkeit verschiedenlanger und dicker Drähte desselben Stoffes findet Ohm zunächst das Gesetz, daß cylindrische Drähte denselben Leitungswert haben, wenn sich ihre Längen wie die Querschnitte verhalten.[2]) Dasselbe Resultat hatten auch Barlow[3]) und Becquerel[4]) gefunden, wenngleich deren sonstige Resultate von einander und denen Ohms verschieden sind, und wenn auch, wie Ohm zeigt, die messenden Versuche beider nur bedingte Gültigkeit haben können.

Um die Unbeständigkeit der Elemente mit Flüssigkeiten zu vermeiden, nahm Ohm nun auf Poggendorffs Veranlassung ein Thermoelement aus Wismut und Kupfer bestehend, ließ die eine Lötstelle konstant auf der Siedetemperatur des Wassers, die andere auf der Schmelztemperatur desselben bleiben und überzeugte sich durch Schließen des Stromes durch denselben Leiter zu verschiedenen Zeiten, daß er nun eine konstante elektromotorische Kraft vor sich habe. Jetzt ist ihm der Grund der Inkonstanz der hydroelektrischen Kette klar. Jenes „Wogen" der elektromotorischen Kraft in der Hydrokette hat seinen Grund in der durch den Strom selbst erzeugten Zersetzung und Verteilung gewisser Teile der Flüssigkeit. Diese Verteilung liefert eine der ursprünglichen Kraft entgegenge-

1) Schweigger, Journal XLVI. 1826. pag. 141.
2) Schweigg. Journ. XLVI. 1826. pag. 142.
3) Phil. Magaz. and Journ. by Taylor. 1825. pag. 105.
4) Bulletin des Sciences May 1825. pag. 296. Vergleiche auch Schweigg. Journ. XLIV. pag. 359ff.

setzte Kraft und verändert die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit, sodaß die hydroelektrische Kette (in dem damaligen Zustande) zu messenden Versuchen ungeeignet ist. Es war Ohm eben noch nicht gelungen, diese Veränderlichkeit zu vermeiden.

199. Mit Hilfe der Thermokette stellt Ohm nun sein berühmtes Gesetz auf

$$X = \frac{a}{b + x};$$

wo X die Stärke der magnetischen Wirkung auf den Leiter (die Intensität des Stromes); x die Länge des eingeschalteten Schließungsdrahtes, a und b Konstante sind, die von der erregenden Kraft und dem Leitungswiderstande der festen Bestandteile der Kette abhängen. Es bestätigen sich ihm die Angaben Davys[1]) daß die Leitungsfähigkeit der Metalle durch Temperaturerniedrigung erhöht, durch Erwärmen geschwächt werde, was bei derartigen Beobachtungen stets zu beachten.

Sind nun, so fährt Ohm fort statt eines Elementes m Elemente in dem Stromkreise vorhanden, so ist statt des einen a nun ma der Ausdruck für die erregende Kraft, und wenn b der Widerstand, den ein Plattenpaar mit feuchtem Leiter dem Strom entgegensetzt, so ist mb der von m solchen Elementen, dann ist die Kraft des elektrischen Stromes $= \frac{a \, . \, m}{m \, . \, b + x}$, wo x wieder wie oben den Widerstand in dem eingeschalteten Leiter bedeutet. Die Bedeutung dieser Gleichung zeigt sich in den Fourierschen und Oerstedtschen Experimenten, daß ein Strom von einem Element nahezu ebenso leicht einen Draht glühend macht wie der von mehreren, und daß die magnetische Wirkung eines Stromes von einem und mehreren Elementen nahe gleich ist, da x verhältnismäßig klein ist.

Man kann für den Fall $x = 0$ eine Verstärkung erhalten durch Verkleinerung des b. Bleibt also a dasselbe, wird b aber $m$mal kleiner, so ist dann die Intensität ver$m$facht. Um das z[illegible]hen wird man also die m Platten neben einander ein[illegible]müssen, d. h. man wird z. B. alle Zinkstreifen unter

[illegible]bert, Annal. LXXI. 1822. pag. 250.

sich und alle Kupferstreifen unter sich verbinden, denn b wird dadurch $m$mal kleiner, dann ist die Intensität $= \frac{a}{\frac{b}{m} + x}$.

Ist x sehr groß im Vergleich zu bm, so wird bei Einschaltung der Elemente hintereinander, d. h. so, daß jedes Zink des einen Elementes mit dem Kupfer des nächsten verbunden ist etc., gemäß der Formel:

$$J = \frac{am}{bm + x};$$

$bm + x$ von x sehr wenig verschieden sein und die Intensität ist ver$m$facht.[1])

200. Zum Schluß dieser wichtigen Abhandlung wendet sich Ohm der Theorie des Multiplikators zu. Die Intensität des Elementes ist $= \frac{a}{b}$, des Elementes mit dem Multiplikatorgewinde bestehend aus m Windungen jede von dem Widerstande l gleich $\frac{a}{b + ml}$. Da nun jede Windung mit dieser Kraft auf die Magnetnadel wirkt, so ist die von den m Windungen ausgeübte Kraft $= \frac{m \cdot a}{b + ml}$.

Das Verhältnis dieser Wirkung zur Wirkung des Elementes bei direktem Schluß $= \frac{bm}{b + ml}$, es kann also nur dann eine Verstärkung der Wirkung durch den Multiplikator eintreten, so lange $ml < (m - 1) . b$, d. h. wenn eine Windung des Multiplikators weniger Widerstand hat als die ganze Kette ohne Zwischenleitung.

Auf diese Weise bestätigt Ohms Theorie die von Poggendorff[2]) gefundenen Thatsachen, daß ein bestimmtes Maximum der Wirkung vom Multiplikator nicht überschritten werden könne, daß dies Maximum für große und kleine Plattenpaare dasselbe bleibe, die Zahl der dazu erforderlichen Windungen aber nach der Größe der Plattenpaare sich richte und bei kleineren Platten größer werde, und daß der aus dickerem Draht gefertigte Multiplikator das größere Maximum habe.

---

1) Schweigg. Journ. XLVI. 1826. pag. 160.

2) Isis 1821. Heft 1.

Experimentelle Prüfung gab Ohm die Bestätigung dieser Sätze in bestimmten Zahlen.

Diese theoretische Betrachtung Ohms setzt einen experimentell begründeten Satz voraus, der von Barlow zuerst gefunden ist[1]), daß nämlich die Intensität des Stromes an allen Stellen der Leitung dieselbe ist. Barlow beobachtete die Ablenkung einer Magnetnadel an den verschiedenen Stellen eines 838 Fuß langen Leitungsdrahtes, welcher einen Hareschen Kalorimotor schloß und fand stets dieselbe Ablenkung. Bestätigt wurde diese Thatsache durch die gleichzeitigen Untersuchungen Becquerels und Ohms. Ausführlicher prüfte diese Fragen Fechner[2]) in seinen berühmten Maßbestimmungen. Doch erst in neuerer Zeit ist die Untersuchung auf alle Teile des Stromkreises, besonders auch auf das Element selbst ausgedehnt. R. Kohlrausch[3]) wies nach, daß auch beim Durchgange des Stromes durch Flüssigkeiten die Intensität des Stromes in diesem Teile des Leiters dieselbe war, wie in den metallischen Leitern, und ebenso auch in den zu den stromerzeugenden Elementen gehörenden Flüssigkeiten. G. Wiedemann gab eine sehr viel einfachere Methode dies zu erreichen an, als die von Kohlrausch gewesen war, in seinem Lehrbuch des Galvanismus (erste Auflage 1861).

201. Ohm kam der Wirkungsweise seiner galvanischen Kette aber noch auf andere Weise bei. Er stützte sich auf Untersuchungen, die bereits 1801 gleichzeitig von Ritter[4]) und Erman[5]) gemacht waren, die von diesem aber dem damaligen Zustande der Elektrizitätslehre entsprechend nicht richtig hatten verwandt werden können, die sogar Erman zu seiner verhängnisvollen Theorie der Unipolarität der Leiter gebracht hatten, von der seiner Zeit berichtet ist. Die Erscheinung war die, daß, wenn ein Voltasches Element durch eine mit Wasser oder Kochsalzlösung gefüllten Röhre geschlossen wurde, sich an der Stelle, wo der + Poldraht in die Röhre eintrat,

1) Schweigg. Journ. XLIV. pag. 367.
2) Fechner, Maßbestimmungen. 1831. pag. 27.
3) Pogg. Ann. Bd. 97. 1856. pag. 401.
4) Gilbert, Annal. VIII. 1801. pag. 455.
5) Gilbert, Annal. VIII. 1801. pag. 205 und X. 1802. pag. 1.

bei elektroskopischer Untersuchung sich eine + elektrische Spannung zeigte, an dem Ende, wo der — Draht eintrat, eine negative; in der Mitte dagegen gar keine. Wurde das eine Ende ableitend berührt, so verdoppelte sich die Spannung am anderen Ende.

Ohm[1]) stellte nun eine theoretische Betrachtung über die Kette an. Sei eine beliebige Anzahl Erregungsstellen zu einer Säule verbunden, sodaß alle Erregungsstellen in gleichem Sinne und gleicher Stärke wirken, und bezeichnen zwei Punkte A und B die beiden Pole dieser Säule, welche durch einen beliebig langen Leiter geschlossen sind, bezeichnet endlich a die Spannung an jeder Erregungsstelle, b den zwischen je zwei Erregungsstellen liegenden stets gleichen Widerstand, y den des Schließungsleiters (Ohm nennt diese letzten beiden Größen schlichtweg die Längen, resp. die reducierten Längen, indem jeder beliebige Widerstand auf eine bestimmte Drahtlänge reduciert werden kann), sodaß der gesamte Widerstand bei n Erregungsstellen ist

$$w = (n-1)b + y.$$

Dann ist die Spannung an einem um x von A entfernten Punkte des Schließungsleiters

hervorgerufen durch die A zunächst liegende Erregungstelle . . . . $= \frac{\frac{1}{2}w - x}{w} . a,$

hervorgerufen durch die von A aus zweite Erregungsstelle . . . . $= \frac{\frac{1}{2}w - x - b}{w} . a,$

hervorgerufen durch die $n$te Erregungsstelle . . . . $= \frac{\frac{1}{2}w - x - (n-1)b}{w} . a.$

Die gesamte Spannung in dem Punkte ist also die Summe dieser einzelnen Spannungen

$$= \frac{\frac{1}{2}n\,[w - (n-1)b] - nx}{w} . a \text{ oder } = \frac{n(\frac{1}{2}y - x)}{w} . a.$$

Für einen Punkt zwischen den Erregungsstellen, also innerhalb der Säule, zwischen der $m$ten und $m+1$ten Erregungsstelle ist diese Spannung

$$= \frac{n(\frac{1}{2}y - x)}{w} . a + (n-m)\,a.$$

1) Pogg. Annal. IV. 97; VI. 459; VII. 45. 1826.

Setzen wir $y = \infty = w$, d. h. wird die Säule geöffnet, so ist im ersten Falle die Spannung $= n . a$, das tritt ein in den Punkten A und B, wenn dieselben nicht durch einen Schließungsdraht verbunden sind; im zweiten Falle $(2n - m) a$. Wird ein Punkt des Schlußleiters, dessen Entfernung von $A = \lambda$ ist, ableitend berührt, so ist in dem Punkte x die Spannung $= \frac{n(\lambda - x)}{w} . a$. Ich bemerke nochmals, λ und x sind Widerstände, oder reducierte Längen.

Alle diese Ausdrücke waren in vollster Übereinstimmung mit Ritters, Ermans und Jägers Untersuchungen, es gelang aber auch Ohm[1]), diese experimentellen Nachweise zu liefern, an einem 300 Fuß langen $^1/_6$ Linie dicken Messingdraht mit Hilfe des Kondensators, an einem Eisendraht von gleicher Länge aber auch direkt am Elektroskop. Als elektromotorische Kraft wandte Ohm 12 Becher mit etwa einzölligen Plattenpaaren an.

202. Ohm hat diese Untersuchungen zusammenfassend dargestellt in seiner 1827 erschienenen Monographie „Die galvanische Kette". Er führt da den Ausdruck „Gefälle" ein, und versteht darunter die Differenz der Spannungen an zwei um die Länge eins von einander entfernten Punkten. Diese nimmt er für einen Leiter überall konstant an, für verschiedene Leiter den Widerständen proportional. Dann ist das Gefälle zwischen zwei um die Länge λ abstehenden Punkten, wenn a die Spannungsdifferenz an der Erregungsstelle bezeichnet, und wenn l die reduzierte Länge der ganzen Kette ist, $= \frac{a . \lambda}{l}$; tritt zwischen den Punkten noch die neue Spannungsdifferenz (elektromotorische Kraft) e ein, so ist die Spannungsdifferenz an den beiden Punkten

$$= \frac{a . \lambda}{l} \pm e$$

(das verschiedene Vorzeichen, je nachdem die Richtung der elektromotorischen Erregung der ursprünglichen gleich oder entgegengesetzt ist). Bezeichnet nun U die Dichtigkeit der Elektrizität in einer Stelle (die Spannung), k den reciproken

1) Pogg. Annal. B. 7. 1826. pag. 117.

Wert des dem Leiter eigentümlichen Widerstandes, d. h. des Widerstandes des Leiters von der Länge 1 und dem Querschnitt 1, q den Querschnitt des Drahtes, N die Richtung des Drahtes, so fließt in der Zeit 1 durch den Querschnitt eine Elektrizitätsmenge

$$e = k . q . \frac{\partial U}{\partial N};$$

$\frac{\partial U}{\partial N}$ ist aber nichts anderes als das Gefälle, also ist $e = k . q . \frac{a}{l}$, oder wenn man $\frac{l}{k . q}$ = dem Widerstand w setzt, $e = \frac{a}{w}$. Diesem e ist aber die Intensität gleich, also kann auch geschrieben werden

$$i = \frac{a}{w}$$

als allgemeinste Form des Ohmschen Gesetzes.

Dies Ohmsche Gesetz hat bis zu unsern Tagen eine ganze Litteratur hervorgerufen, ich gehe zunächst zu den wichtigsten Arbeiten, die sich hierauf beziehen, über, und werde dann auf die unendlich segensreiche Anwendung des Gesetzes kommen.

203. Zunächst erfuhr das Ohmsche Gesetz experimentelle Bestätigung durch Gustav Theodor Fechner[1]), damals Docent an der Universität in Leipzig. Fechner war 1801 in Groß-Särchen in der Lausitz geboren, studierte und promovierte in Leipzig, wo er sich als Dozent niederließ und bald außerordentlicher Professor ward, 1834 wurde er ordentlicher Professor der Physik. Diese Stellung mußte er 1839 wegen einer bösen Augenkrankheit aufgeben, von welcher er 1843 geheilt war, dann wurde er wieder als Ordinarins für Naturphilosophie und Anthropologie angestellt, in welcher Stellung er noch heute weilt. Zuerst machte er sich bekannt durch die Übersetzung von Biot, Lehrbuch der Experimentalphysik, bei deren zweiter Auflage er einen dritten Band selbständig einfügte, der auch allein unter dem Titel: Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie 1829 erschienen ist. In diesem

1) Biot, Lehrbuch der Experimentalphysik, 2. Auflage. 1828—29. Schweigg. Journ. LIII. u. LV. 1828 u. 1829. Alle seine Versuche zusammengefaßt in: Maßbestimmungen über die galvanische Kette. 1831.

Buche teilt er die Versuche mit, die uns besonders interessieren, er sagt selbst in der Vorrede (pag. X): „In der Darstellung der Umstände, von welchen die quantitativen Verhältnisse der Wirksamkeit galvanischer Ketten abhängen, bin ich nicht sowohl der Ohmschen Theorie gefolgt, als ich durch Erfahrungen nachgewiesen habe, daß ihre wesentlichsten Folgerungen sich in der Wirklichkeit bestätigen."

204. Fechner führt, da er mit inkonstanten Ketten Kupfer-Zink in schwach angesäuertem Brunnenwasser arbeitete, die einen schnell abnehmenden Strom lieferten, hierbei eine neue Beobachtungsmethode ein. Eine Nobilische Doppelnadel stellt er in den magnetischen Meridian und läßt nun entweder einen in Form eines Rechtecks gebogenen Draht, oder eine Spirale von dem Strom durchflossen, senkrecht zum Meridian über den Mittelpunkt der Nadel hingehen, sodaß die Nadel senkrecht auf den Ebenen der Windungen oder jenes Rechtecks steht, dann fällt die richtende Kraft des Stromes zusammen mit der richtenden Kraft des Erdmagnetismus. Er sucht nun die richtende Kraft des Erdmagnetismus allein auf, dann die des Erdmagnetismus und des Stromes durch Schwingungsbeobachtungen. Die gesuchte Kraft des Stromes ist dann 2) minus 1). Nun ist nach dem Pendelgesetz die Stärke einer die Nadel in Schwingungen versetzenden Kraft umgekehrt proportional dem Quadrat der zu einer und derselben Anzahl von Schwingungen erforderlichen Zeit, diese sei für die Schwingungen unter alleinigem Einfluß des Erdmagnetismus N, unter Einfluß von Erdmagnetismus und Strom $= N_1$, dann ist im Falle 1) die Kraft $= \frac{a}{N^2}$, und im Fall 2) $= \frac{a}{N_1^2}$; also die gesuchte Intensität

$$J = a \cdot \frac{N^2 - N_1^2}{N_1^2} \cdot \frac{1}{N^2};$$

oder wenn man die Kraft des Erdmagnetismus zur Einheit wählte, also $\frac{1}{N^2} = 1$ setzt,

$$J = a \frac{N^2 - N_1^2}{N_1^2}.^{1)}$$

Diese Beobachtungsweise ist nur erlaubt für konstante

1) Vergl. auch Schweigg. Journal. LVIII, 1830, pag. 403.

Kräfte, und Fehler in der Bestimmung der Zeit machen sich um so fühlbarer je größer die Kraft, also je kleiner die Zeit ist, daher beobachtet Fechner nur die ersten vier bis acht Schwingungen und wendet verhältnismäßig schwache Kräfte an. Fechner schaltete nun bei gleicher elektromotorischer Kraft E und gleichem Widerstand R des Elementes in die Kette verschieden lange Drähte von ein und demselben Material ein und fand, wenn l die Länge des ersten Drahtes, l' die des zweiten Drahtes war, die entsprechenden Intensitäten

$$J = \frac{E}{R + lc}; \quad J' = \frac{E}{R + l'c};$$

wo c eine dem Draht spezifisch zukommende Konstante ist.

Änderte er aber nun R durch Vergrößerung der Distanz der Plattenpaare, so mußte er einen von der angewandten Flüssigkeit und den Metallplatten abhängigen nahezu konstanten Wert w zu R und R' addieren, damit J und J' den Formeln entsprechen, das führte ihn zur Annahme eines spezifischen „Übergangswiderstandes“, über dessen Ursache er sich nicht eine bestimmte Anschauung bildete.

Die Natur dieses Übergangswiderstandes untersuchte Ohm. Ich werde gleich darauf zurückkommen, nachdem ich die experimentelle Bestätigung des Ohmschen Gesetzes beendet habe.

205. Während Fechner dieselbe lieferte durch Intensitätsmessung, indem er die Schwingungszeit der Nadel beobachtete, bediente sich Pouillet[1]) der von ihm konstruierten Tangenten- und Sinusbussole, um aus der Ablenkung der Magnetnadel die Intensität des Stromes zu bestimmen, er schaltet Drähte von verschiedener Länge ein und findet das Ohmsche Gesetz. Ob er dasselbe gekannt hat, sagt er nicht; später ist der Versuch gemacht, Pouillet die Priorität der Entdeckung zuzuschreiben, was um so komischer ist, da noch nicht einmal ausgemacht ist, ob Pouillet nicht die Ohmschen und Fechnerschen Untersuchungen kannte. Denn wenn Engländer und Franzosen eine deutsche Arbeit nicht citieren, ist das, wie ich schon früher zu erwähnen Gelegenheit hatte, kein Grund, daß sie dieselbe nicht doch gekannt hätten. Da Pouillet schon seit länger mit

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 281.

Poggendorff in wissenschaftlichem Verkehr stand, wie das aus den von ihm selbst für Poggendorffs Annalen verfertigten Auszügen aus seinen Arbeiten hervorgeht, ist mir sehr wahrscheinlich, daß Pouillet mit Ohms Arbeit bekannt war, seine sehr guten Experimente also nur eine Bestätigung der Ohmschen Theorie waren, wie Poggendorff in der Note auch bemerkt. In Frankreich und England wurde allerdings durch diese Arbeit Pouillets 1837 erst das Ohmsche Gesetz bekannt.

206. Auch für Flüssigkeiten wurde nach dieser Methode das Ohmsche Gesetz als richtig nachgewiesen von Beetz[1]) und Kohlrausch.[2]) Es ist jedoch nicht nötig auf diese näher einzugehen, da die Untersuchungen einen sehr speziellen Charakter haben und unserer Zeit so nahe liegen, daß die speziellen Resultate nicht mehr in den Rahmen dieses Buches gehören.

Während auf diese Weise das Ohmsche Gesetz durch Intensitätsbestimmungen bewahrheitet wurde, hat auch die andere Methode Ohms durch elektrostatische Untersuchung eine Bestätigung zu erhalten in späterer Zeit eine Wiederholung durch Kohlrausch gefunden, die hier besprochen werden muß.

Kohlrausch[3]) verband die beiden Platten eines Kondensators mit den Polen eines Elementes, welches durch einen Draht zwischen Quecksilbernäpfchen geschlossen war, sobald nun der Schließungsdraht aus dem Quecksilber genommen wurde, also der Strom unterbrochen war (zur Ladung genügte eine Unterbrechung von $^1/_2$ Sekunde) wurde den Kondensatorplatten die elektrische Spannung des Elementes zugeführt, indem entweder die Kondensatorplatte ableitend berührt ist zur Erde, oder auch nicht. Die Kollektorplatte wird dann nach Aufhebuung der Verbindung mit dem Element in die Höhe gehoben und an einem feinen Dellmannschen Elektrometer untersucht. Die elektromotorische Kraft des Elementes bestimmt Kohlrausch durch die Ablenkung einer Magnetnadel, indem er soviel Widerstand in den Stromkreis einschaltete, daß die Nadel einmal 50°, das andere Mal 45° Ablenkung zeigte. Die Spannung bestimmte

---

1) Pogg. Annal. Bd. 125. 1865. pag. 126.
2) Pogg. Annal. Bd. 138. 1869. pag. 280, 370.
3) Pogg. Annal. Bd. 75. 1848. pag. 220.

Kohlrausch am Elektrometer auf zwei Weisen, durch Beobachtung des Ausschlagswinkels des Wagebalkens und durch die Torsion, die nöthig war, um einen konstanten Ausschlag hervorzubringen. Um die Zahlenwerte vergleichbar zu machen, müssen die beiden letzten Wertkolumnen mit je einer bestimmten Konstanten multipliziert werden. Dann lautet die Kohlrausch-sche Tabelle:

	Elektr. Kraft	Spannung d. Ausschlag	Spannung durch Torsion
1) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpetersäure v. sp. Gew. 1,357	28,22	28,22	28,22
2) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpetersäure v. sp. Gew. 1,213	28,43	27,71	27,75
3) Zink in Zinkvitriol — Kohle in Salpetersäure v. sp. Gew. 1,213	26,29	26,15	26,19
4) Zink in Zinkvitriol — Kupfer in Kupfervitriol	18,83	18,88	19,06
5) Silber in Cyankalium — Kochsalz — Kupfer in Kupfervitriol	14,08	14,27	14,29
desgleichen etwas später	13,67	13,94	13,82
nach größerer Zeit	12,35	12,36	12,26

Die Abweichungen liegen durchaus innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler und Kohlrausch ist berechtigt zu dem Schlusse, daß die elektromotorische Kraft eines Elementes der elektroskopischen Spannung an den Polen des geöffneten Elementes proportional ist.

Ein Jahr später vervollständigte Kohlrausch[1]) diese Untersuchung durch Wiederholung auch der Versuche Ohms, die sich auf die Spannung an einzelnen Stellen beziehen, indem er eine Stelle des Leitungsdrahtes mit der Kondensatorplatte verband, beides zur Erde ableitete und eine andere Stelle mit der Kollektorplatte verband, die am Elektrometer untersucht wurde. Auf diese Weise stellte Kohlrausch die Sätze Ohms fest, daß 1) bei Drähten von verschiedenem Metall aber gleichem Querschnitte die Gefälle direkt proportional sind den spezifischen Widerständen der Metalle; 2) bei Drähten von verschiedenem Metalle und ungleichem Querschnitt die Gefälle direkt proportional den spezifischen Widerständen aber umgekehrt proportional dem Querschnitt derselben sind. — Ebenso fand er durch Unter-

1) Pogg. Annal. Bd. 78. 1849. pag. 1—21.

suchung der Spannungsverhältnisse in einem Querschnitt eines flüssigen Leiters den Satz bestätigt, daß die Spannung in einem Querschnitt überall dieselbe ist.[1]) Kohlrausch untersucht die oben angegebene Formel $u = \frac{\lambda}{l} \cdot a$, wo u die Spannung, l die reducirte Länge der ganzen Kette, λ die bis zur untersuchten Stelle, a die Spannungsdifferenz an der Erregungsstelle ist oder, wie Kohlrausch, sagt die „Triebkraft“. Als Element benutzt er ein Daniellsches, von welchem später die Rede sein wird. Nachdem er a, l und λ bestimmt hat, hat er das Mittel u zu berechnen und zu beobachten am Elektrometer. Die Tabelle der beiden Werte für verschiedene λ ist:

u berechnet	u beobachtet	u berechnet	u beobachtet
0,93	0,85	4,80	5,03
1,86	1,85	5,86	5,99
2,80	2,69	6,91	6,93
3,73	3,70	7,98	7,96

Man sieht, die Übereinstimmung ist so groß, daß das Ohmsche Gesetz hinreichend bewiesen ist. Ich übergehe daher die späteren Untersuchungen, die an diesem Resultat nichts geändert haben. Sehr beachtenswert ist jedoch noch der Schluß der Kohlrauschschen Arbeit, er sagt: „Man sieht, das ganze Gebäude ist auf die Annahme basiert, daß der elektrische Strom in einer wirklichen Fortbewegung der Elektrizität von Querschnitt zu Querschnitt in der Kette besteht, es steht und fällt mit dieser Annahme. Mag aber auch an der Richtigkeit dieser gezweifelt werden, ein inniger Zusammenhang zwischen dem Strome und der Verteilung der elektroskopischen Elektrizität durch die ganze Ausdehnung der Kette ist schon deswegen vorhanden, weil beide in gleicher Weise von den reduzierten Längen abhängig sind, und dieser Zusammenhang, welcher auf Thatsachen beruht, bleibt bestehen, auch wenn man das Wesen des Stromes nicht mehr in der wirklichen Fortbewegung der Elektrizität erblickt.“

207. Auch für schlechte Leiter ist die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes durch die Untersuchung am Elektroskop

---

1) Vgl. auch Wiedemanns Untersuchung pag. 239 dieses Buches.

und Kondensator bestätigt durch Gaugain im Jahre 1860.[1]) Ebenfalls habe ich gezeigt, daß auch für glühende Gase, wenn man die so sehr störenden Polarisations- und Thermoströme vermeidet, das Ohmsche Gesetz seine Gültigkeit hat durch Messungen am Galvanometer bei Einschaltung verschiedener Längen und verschiedener elektromotorischer Kräfte.[2])

Das Ohmsche Gesetz ist nun in der That eines der fruchtbarsten in der ganzen Elektrizitätslehre geworden nicht nur seiner eigenen Bedeutung wegen, sondern ganz besonders wegen der Anwendungen, welche davon gemacht wurden, und wegen der vielen weitergehenden Arbeiten, wozu dasselbe Veranlassung gab. Ich habe auf Seite 261 bereits des von Fechner angenommenen Übergangswiderstandes gedacht, es ist jetzt an der Zeit dies näher zu verfolgen.

Zweites Kapitel.

Übergangswiderstand und Polarisation.

208. Etwa gleichzeitig mit Fechner hatten auch de la Rive und Marianini angenommen[3]), daß beim Übergange des Stromes aus einem festen Leiter in einen flüssigen ein Teil der Kraft verloren gehe. Über den Grund dieses Verlustes sagen sie aber nichts; beide hatten beobachtet, daß das Galvanometer einen erheblich geringeren Ausschlag anzeige, sobald ein solcher Übergang in der Kette vorkomme und de la Rive bemerkt, daß der Verlust abhängig sei von der Natur der sich berührenden Leiter und der Oberfläche der Berührung. Da Fechners Untersuchung ausführlicher ist, wird es nötig sein, diese besonders ins Auge zu fassen.

Ich habe an der betreffenden Stelle die Formel gegeben, nach welcher Fechner arbeitete, und bemerkt, er habe sich gezwungen gesehen einen Übergangswiderstand w einzufügen, also zu schreiben

$$J = \frac{E}{d + lc + w};$$

1) Wiedemann, Lehre v. d. Elektrizität 1882. Bd. 1. pag. 357.

2) Wiedemanns Annalen Bd. 2. 1877. pag. 83.

3) Annal. de Chim. et de Physique XXXVII. 1828. pag. 256.

wo d die reduzierte Länge des Elementes ist, lc die der äußeren Leitung. Fechner berechnet nun $\frac{d}{E}$ und $\frac{lc}{E}$, dann fand er aus dieser Formel $\frac{w}{E}$ oder w selbst. Die Resultate seiner Untersuchung sind[1]):

Der Übergangswiderstand ist konstant bei geringem $lc + d$, nimmt ab bei Vergrößerung dieser Widerstände, er nimmt ab bei wachsender Berührungsfläche zwischen festem Leiter und Flüssigkeit, desgleichen bei Hinzufügen von Säure zur Flüssigkeit (bessere Leistungsfähigkeit der Flüssigkeit); der Übergangswiderstand an der Zinkplatte (+) und der Kupferplatte (−) in dem Element ist anfangs gleich, wächst aber an letzterer schneller, wie an ersterer. Der Übergangswiderstand im Elemente ist gleich der Summe der Übergangswiderstände an den Platten, er erreicht bald ein Maximum, indem er anfangs schnell dann langsamer wächst.

Durch zahlreiche Versuche hat Fechner diese Sätze begründet, allein es entstand die Frage, ob nicht eine andere Ursache dieselben Wirkungen bedingen könne.

209. Diese Frage beantwortete Ohm[2]) in Zusammenhang mit seiner Behandlung der unipolaren Leitung. Ich habe seiner Zeit Ermans Entdeckung angeführt. Ohm benutzt davon besonders die Erscheinungen an der Seife. Wie die Seife verhält sich auch getrocknetes Eiweiß und die Flamme des Phosphors. Erman[3]) beobachtete an diesen Körpern, daß wenn sie die Pole eines Elementes ableiten zur Erde, sowohl der + wie der — Pol vollständig abgeleitet werden, wenn sie aber die beiden Pole der Säule unter sich verbinden und dann ableitend mit der Erde verbunden werden, so wird die Elektrizität des — Pols vollständig abgeleitet, die des positiven aber wird dieselbe Höhe annehmen, wie wenn bei ungeschlossenem Element nur der — Pol abgeleitet wäre, sie scheinen also die negative Elektrizität durchzulassen, die posisive dagegen abzuhalten.

1) Fechner bezeichnet die elekromotorische Kraft mit A. Beispiele für die Berechnung siehe auch Schweigg. Journal LX. 1830. pag. 17.

2) Schweigg. Journal LIX. 1830. pag. 385; LX. 1830. pag. 32.

3) Gilberts Annal. XXII. 1806. pag. 14.

Umgekehrt verhalten sich die Wasserstoff enthaltenden Flammen. Erman nennt daher die ersten Körper negativ unipolar, diese letzteren positiv unipolar.

210. Fechner[1]) suchte diese Erscheinungen durch seinen Übergangswiderstand zu erklären, so wäre z. B. bei der Seife der Übergangswiderstand für positive Eektrizität größer von Metall zur Seife als von der Seife zum Metall, für die negative dagegen größer von der Seife zum Metall als vom Metall zur Seife. Ohm bemerkt hierzu richtig, daß dadurch nichts erklärt wird, es ist nur ein anderer Ausdruck für dieselbe Sache. Scheinbar mehr leisten die Erklärungen von Configliachi und Brugnatelli[2]) einerseits, welche zwischen der Seife und dem Metall eine Spannung von geeigneter Größe annahmen, und von Prechtl andererseits, der durch eine ungleiche Erwärmung der Seife an den beiden Poldrähten die Erscheinung erklären wollte. Beide Versuche sind durch Experimente nicht bestätigt, haben also keinen Wert. Und doch hatte Prechtl[3]) eine Entdeckung hierbei gemacht, die ihn auf den rechten Weg hätte führen müssen. Er sagt: „Bringt man die völlig trockenen Enden der Polardrähte in die isolierte Seife, nimmt sie nach kurzer Zeit wieder aus derselben und wischt sie auf kalisch (alkalisch) reagierendem Papier ab, so giebt immer das negative Ende eine kalische Färbung, das positive zeigt keine oder nur äußerst geringe Spuren dieser Färbung."

211. Ohm untersucht die Seife am Elektrometer und zeigt, daß die Ursache der unipolaren Erscheinung nicht schon in der Seife ursprünglich vorhanden war, sondern erst durch den Strom erzeugt wird, sodaß ein Stück Seife, welches von dem Strom einmal durchlaufen, negativ unipolar erschien, nachdem es umgekehrt ist, sodaß der negative Draht an die Stelle des positiven und umgekehrt tritt, jetzt positiv unipolar erscheint, bis durch die Einwirkung des Stromes wieder der negativ unipolare Charakter hergestellt ist. Nachdem dies klar gestellt, bleibt zu untersuchen, ob etwa eine Spannung zwischen

---

1) Biot, Lehrbuch etc. v. Fechner 2. Aufl. III. pag. 90.
2) Biot, Lehrbuch von Fechner. III. 1829. pag. 92.
3) Gilbert, Annal. XXXV. 1810. pag. 99.

Seife und Metalldraht vorhanden ist, es findet sich keine, also kann nur der Grund der Erscheinung in einer durch die chemische Zersetzung der Seife durch den Strom hervorgerufenen Verschiedenheit des Leitungswiderstandes zu suchen sein. Diese chemische Zersetzung ist zur Hälfte schon durch Prechtl entdeckt: an dem negativen Drahtende bildet sich Alkali. Am positiven aber scheidet sich dann die Fettsäure aus, deren unmittelbare Nachweisung freilich Ohm nicht gelungen ist. Die nichtleitende Eigenschaft der Fettsäure nun ist die Ursache, daß die Kette bald so geschwächt ist, daß eine Zersetzung der Seife nicht mehr stattfinden kann, also die Seife unipolar erscheint. Die Seife erscheint also nicht unipolar wenn entweder der Strom so schwach ist, daß eine Zersetzung nicht stattfindet, wie bei trockenen Säulen, oder wenn die Säule selbst einen so großen Widerstand enthält, daß der durch die Fettsäure repräsentierte dagegen verschwindet. Ganz ähnlich verhalten sich die anderen unipolaren Leiter, doch ist eine sichere Angabe, worauf die Erscheinung bei denselben beruht, Ohm unmöglich, wegen der chemisch noch nicht fertigen Analyse der Körper, besonders der Flammen, doch ist Ohm auch in der Beziehung wenigstens auf dem durchaus richtigen Wege.

Bei der Bemühung, andere leichter zu beurteilende unipolare Körper zu finden, bietet sich Ohm die Schwefelsäure, in welche er zwei Platten aus Zink, aus Kupfer, aus Silber, Zinn, Messing, Gold, Blei, Platin brachte. Woraus die negative Platte besteht ist gleichgültig, war die mit dem positiven Draht verbundene Platte Zink, Kupfer, Messing oder Silber, so erschien die Säure unipolar, bei Anwendung von Blei oder Zinn selten, bei Gold und Platin nie. Die Ursache war die Bildung von schwefelsaurem Zinkoxyd, oder schwefelsaurem Kupferoxyd etc. Diese Salze aber sind sehr schlechte Leiter für die Elektrizität, daher die Unipolarität. Verdünnt man die Säure durch Wasser, oder taucht die Drähte, wenn sich das Salz gebildet, in Wasser, worin das Salz leicht löslich ist, so verschwindet die Unipolarität sofort. Ein Beweis, daß nur diese chemische Veränderung, nämlich der Überzug des + Pols durch einen schlechtleitenden Körper, die Ursache der Unipolarität ist.

212. Im Verfolge[1]) seiner Versuche mußte Ohm nun eine Thatsache besonders auffallen, daß, wenn er die Drahtenden seines Elementes durch Platin oder auch Goldplatten in Schwefelsäure führte, hier auch eine schnelle Abnahme der elektromotorischen Kraft des Elementes einzutreten schien. Er fand als Ursache eine, wie er sich ausdrückt, durch den Strom beim Durchgange durch die Säure erzeugte „Gegenspannung" (wir sagen Polarisation), indem der Strom bestrebt war, an der + Platinplatte eine negative Schicht und an der — Platte eine positive Schicht zu erzeugen; diese bewirkt eine elektromotorische Kraft in entgegengesetzter Richtung, wie die ursprüngliche Kette, und kann so stark werden, daß das Resultat beider Kräfte ein verschwindend kleiner Strom wird. Damit erledigte sich nun auch die ganze Theorie vom Übergangswiderstand. Die Erscheinungen Fechners mußten sich alle erklären lassen durch das Entstehen dieser Gegenspannung. Und um möglichst konstante Elemente zu haben, sei es nötig, als + Metall einen Körper zu nehmen, der sich leicht mit der Säure verbinde, und als negativen Körper mußte man versuchen, einen hydrogenisierbaren Leiter zu finden. (Damit deutet Ohm den richtigen Weg zur Konstruktion konstanter Elemente an.) Dem negativen Metall sei daher die besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, denn da sei besonders der Sitz der Gegenspannung, da das positive Metall sich mit der Säure leicht zum Oxyd verbinde, es finde demnach wohl eine Änderung des Leitungsvermögens in dem Elemente selbst durch die Zersetzung durch den Strom statt, aber hauptsächlich sei diese Polarisation Ursache an der Abnahme des Stromes.

213. Die Theorie des Übergangswiderstandes ist später wieder von Lenz[2]) und Poggendorff[3]) behandelt, und besonders letzterer glaubt bei seinen Versuchen, welche die Existenz eines solchen Widerstandes beweisen sollen, die Möglichkeit einer Polarisation ausgeschlossen zu haben, durch Anwendung von Strömen, die schnell ihre Richtung ändern, er

1) Schweigg. Journ. LX. 1830. pag. 32.
2) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. pag. 586.
3) Pogg. Annal. Bd. 52. 1841. pag. 497.

benutzte die weiter unten zu besprechenden Induktionsströme. Allein nach den neuesten Untersuchungen von F. Kohlrausch von 1874—80[1]) ist es zweifellos, daß auch bei solchen Strömen immer eine Polarisation auftritt, sodaß die Poggendorffschen Versuche ihre Beweiskraft verlieren.

Eine Entscheidung dieser Frage liegt schon in den genauen Versuchen von Lenz[2]), die er 1843 veröffentlichte. Lenz schließt zunächst ein Element oder eine Kette, welche einen konstanten Strom liefert, durch einen metallischen Leiter, in welchem ein bestimmter Widerstand eingeschaltet wird $= a$, um der mit eingeschalteten Tangentenbussole eine Ablenkung α zu geben. Dann ist

$$J = \frac{E}{w + a},$$

wenn J die Intensität, E die elektromotorische Kraft, w der im Element und der Leitung vorhandene Widerstand ist. Dann schaltet er eine Flüssigkeitszelle ein von der Länge d, und dem Leitungswiderstand λ für die Längeneinheit; sei dann p die elektromotorische Kraft der Polarisation, und L der Übergangswiderstand, dann ist die Einschaltung eines bekannten Drahtwiderstandes a' erforderlich, um wieder die Ablenkung α, d. h. dieselbe Intensität zu erhalten. Nun ist

$$J = \frac{E - p}{w + a' + d\,.\,\lambda + L}.$$

Durch Gleichsetzung dieser Ausdrücke erhält man

$$a - a' = d\,.\,\lambda + L + \frac{p}{J};$$

durch eine Versuchsreihe ist nun konstatiert, daß

$$a - a' = C + \frac{m}{J}$$

ist, wo c und m Konstante sind. Ist nun $L = 0$, d. h. kein Übergangswiderstand da, so ist die Polarisation eine Konstante, ist $p = 0$, so ist L umgekehrt proportional J. Beides tritt ein, wenn beide vorhanden sind. Nun fand Lenz, daß sowohl Polarisation wie Übergangswiderstand von der Tiefe des Ein-

1) Wiedemann, Lehre von der Elektrizität. Band I. 1882. pag. 474—478.

2) Pogg. Annal. Bd. 59. pag. 203 u. 407. 1843.

senkens der Platten in die Flüssigkeitszelle unabhängig ist, das ist nur möglich, wenn L verschwindend klein, und p konstant ist, daß letzteres der Fall ist, kann, da p eine elektromotorische Kraft bedeutet, nur natürlich erscheinen.

214. Man sieht dementsprechend heutzutage[1]) in der That von der Annahme eines Übergangswiderstandes als solchen, d. h. eines sich dem Übergange von Elektrizität aus einem festen in einen flüssigen Leiter entgegenstellenden besonderen Hindernisses ab, und hat nur die Polarisation und die Veränderung der Leitungsfähigkeit durch chemische Veränderungen an der Grenze, sowohl innerhalb der Flüssigkeit, wie an dem festen Leiter zu berücksichtigen, d. h. wesentlich das, was schon Ohm gewollt.

In Bezug auf die Polarisation machte Lenz in Verbindung mit Saweljew einige Jahre später ausgedehnte Versuche bekannt,[2]) die noch heute maßgebend sind, wo er verschiedene Metalle in verschiedenen Flüssigkeiten untersucht, und die Größe der Polarisation mißt. Die größte Polarisation erhält Lenz bei Quecksilber in Wasserstoff, diese war etwa ebenso groß, wie die elektromotorische Kraft von Zink in Schwefelsäure. Am Schlusse dieser Arbeit stellt er das Resultat seiner Untersuchung in folgenden Sätzen zusammen:

„1) Die Polarisation der Elektrodenplatten findet nicht statt, sobald keine Gase an ihnen entwickelt werden; die nächste Ursache der Polarisation sind also die Gase. 2) Die Polarisation, welche entsteht, wenn eine Flüssigkeit zwischen Elektroden zersetzt wird, ist die Summe der an jeder Elektrode erzeugten Polarisation. 3) Die Polarisation und die elektromotorischen Kräfte summieren sich in algebraischem Sinne in jeder Zersetzungszelle. 4) Verschiedene „Kombinationen" eines Metalls mit einer Flüssigkeit lassen sich in Beziehung auf ihre elektromotorischen Kräfte gegen einander in eine Reihe ordnen, wo jedes folgende positiv ist gegen das vorhergehende, und die elektromotorischen Kräfte lassen sich durch Zahlen ausdrücken, sodaß die elektromotorische Kraft

1) Lenz, l. c. pag. 418.
2) Pogg. Annal. Bd. 67. pag. 497. 1846.

zweier beliebiger Kombinationen gegen einander durch die Differenzen der zu ihnen gehörigen Zahlen ausgedrückt wird."

Einen fünften Satz übergehe ich, weil er sich speziell auf die vorhergehende Arbeit bezieht. Für Satz 1 und 4 möchte es freilich auch richtig sein, Ausnahmen zu statuieren, wenngleich nur in sehr bescheidenem Maße, sodaß wir in diesen Sätzen freilich im allgemeinen das Resultat der Forschung anerkennen müssen.

Ehe wir jedoch die Untersuchungen über die Polarisation und auch die über das Ohmsche Gesetz und seine Anwendung weiter verfolgen, müssen wir einen Schritt zurückgehen auf die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes, wir werden uns dabei recht kurz fassen können, indem wir von den vielen Einzelnheiten absehen, da sie mehr chemisches Interesse haben, und wir uns nur an das rein physikalische zu halten haben.

Drittes Kapitel.

Chemische Wirkungen.

215. Wir hatten im vorigen Zeitabschnitt mit Nobilis Ringen abgeschlossen. Die großen Fortschritte der chemischen Wirkungen knüpfen sich an den Namen Faradays. Es giebt wohl kaum einen Physiker aller Zeiten, der eine so umfangreiche Reihe wichtiger Experimental-Untersuchungen angestellt hätte. Faraday war auch durch seinen Bildungsgang auf das Experiment besonders gewiesen, seinem Genie blieb es aber vorbehalten, aus den Experimenten zahlreiche, wichtige Schlüsse zu ziehen.

Michael Faraday war 1791 zu Newington bei London als Sohn eines Hufschmieds geboren, und gleich seinem großen Vorgänger Eranklin anfangs Buchbinder, 1813 wurde er Gehilfe und Assistent am chemischen Laboratorium der Royal Institution zu London unter Leitung Davys, welchem er viel verdankte. Seine erste Arbeit chemischen Inhalts veröffentlichte er 1817. Nach Davys Niederlegung der Leitung des Instituts hatte Faraday noch unter Brande zu arbeiten, dem er 1827 als Professor und Leiter des In-

stituts folgte. Schon 1824 hatte man ihn zum Mitglied der Royal Society gewählt, nachdem er 1821 die von uns citierte erste physikalische Arbeit veröffentlicht hatte. Seit 1831 gab er seine meisten Untersuchungen in zwanglosen Heften, betitelt „Experimental researches in electricity", heraus, von denen bis zum Jahre 1855 nicht weniger als 30 Serien erschienen, zahlreiche andere Untersuchungen erschienen in Journalen. An Ehren fehlte es Faraday nicht, er wurde 1832 zum Dr. jur. in Oxford ernannt und 1842 Mitglied der Berliner, 1844 Mitglied der Pariser Akademie; er starb 1867.

216. In der 5.—7. Serie der Experimental researches vom Jahre 1833 und 1834 giebt Faraday nun seine elektrochemischen Untersuchungen, wodurch er der Begründer der Elektrochemie von heute ist.[1]) Zunächst giebt Faraday eine feste Nomenklatur für den ganzen Vorgang. Die chemische Aktion heißt Elektrolyse, die zu zersetzende Flüssigkeit das Elektrolyt, die in dieselben tauchenden Metallstücke (Drähte oder Platten) heißen Elektroden, und zwar diejenige, durch welche der + Strom in die Flüssigkeit eintritt, heißt Anode, die, durch welche er austritt, Katode, die durch die Zersetzung erzeugten Bestandteile heißen Ionen, und zwar das sich an der Anode anhäufende, resp. freiwerdende heißt Anion, das an der Katode Kation, das Anion ist also elektronegativ, das Kation elektropositiv.

217. Faraday untersuchte nun unter anderen geschmolzene Elektrolyte, z. B. Chlorblei, unter Anwendung von Platinelektroden und findet Blei an der Katode, Chlor an der Anode; zersetzte er Zinnchlorür zwischen einer negativen Platinelektrode und einer positiven Zinnelektrode, so entstand an dem Platin ein Niederschlag von Zinn, während sich am Zinn Chlor entwickelte, welches sich mit ebensoviel Zinn der Elektrode verband, wie an dem Platin ausgeschieden wurde. Auf analoge Weise untersuchte Faraday gelöste Salze; hierbei traten aber fast regelmäßig neben der primären Elektrolyse noch sekundäre Erscheinungen ein, indem die Ionen mit den Elektrolyten und

1) Pogg. Ann. Band 33. 1834. pag. 149—189; pag. 301—331; pag. 433—451. Bd. 35. 1835. pag. 1—46; pag. 222—260.

den Elektroden chemische Verbindungen durch chemische Affinität eingingen; z. B. untersuchte Faraday Jodwasserstoffsäure und Cyanwasserstoffsäure, wo sich an der — Elektrode ebensoviel Wasserstoff entwickelt wie an der + die chemisch äquivalente Menge Jod etc. Im allgemeinen leitet Faraday aus seinen Versuchen ab, daß die Menge des zersetzten Elektrolyts proportional ist der Stromstärke, und daß ein Strom, welcher in der Zeit t die Wassermenge a zersetzt, die der Menge a äquivalente Masse eines beliebigen anderen Elektrolyts in der gleichen Zeit t zersetzt. Das Wort äquivalent hat seinen chemischen Sinn, wonach die Gewichte äquivalent genannt werden, welche sich in den Verbindungen ersetzen können. Ferner folgt aus Faradays Versuchen, daß die an den Elektroden abgeschiedenen Substanzen ebenfalls chemisch äquivalent sind. Diese Arbeit der Zersetzung wird lediglich durch den Strom geleistet und ist unabhängig von etwa vorhandenen Affinitäten zwischen den Elektroden und den Ionen, sodaß z. B., wenn an einer Elektrode sich Sauerstoff ausscheidet, die Menge des ausgeschiedenen Sauerstoffs unabhängig ist von der Natur der Elektrode; sie ist gerade so groß, wenn die Elektrode aus Platin besteht, welches keine Affinität zum Sauerstoff hat, als wenn sie aus Zink besteht, wo sich Zinkoxyd bildet.

218. Einen scheinbaren Widerspruch gegen sein elektrolytisches Gesetz bildete die Zersetzung des Wassers; statt, wie zu erwarten, das Verhältnis des Sauerstoffs zu Wasserstoff wie 1 zu 2 zu finden, fand Faraday sogar unter Umständen das Verhältnis 1 : 3,5. Er konnte hierauf keine befriedigende Antwort geben. Erst sieben Jahre später gelang es Schönbein[1], den wahren hauptsächlichsten Grund hiervon aufzufinden in der Ozonisierung des Sauerstoffs.

Schönbein bemerkte nämlich bei der Wasserzersetzung einen merkwürdigen Geruch und fand den Grund desselben in einer Modifikation des Sauerstoffs, welche er Ozon nannte nach ὄζειν = riechen; dies Ozon hat dieselbe Eigenschaft wie Chlor, nämlich Jod aus seinen Verbindungen mit Metallen zu vertreiben; so scheidet dasselbe

1) Pogg. Annal. Bd. 50. 1840. pag. 616.

aus Jodkaliumkleister das Jod aus, wodurch das mit dem Kleister bestrichene Papier gebläut wird. Tritt bei der Zersetzung Ozon auf, so entsteht auch immer an der Elektrode, wo sich der Wasserstoff ausscheidet, Wasserstoffsuperoxyd, sodaß ein Teil des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff sich zu Wasserstoffsuperoxyd verbindet. Beide Bildungen tragen zur Verminderung des Sauerstoffvolumens bei, da später von Tait und Andrews 1860 gezeigt wurde, daß Ozon eine Verdichtung des Sauerstoffs bedinge. Die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd ist von Meidinger zuerst nachgewiesen[1]) Schönbein denkt sich die Bildung des Ozon so, daß der im Wasser vorhandene Sauerstoff inaktiv sei und bei der Zersetzung zerfalle in elektropositiven, den Antozon, und elektronegativen, den Ozon; ein Teil würde sich bei der Berührung zu gewöhnlichem Sauerstoff wieder vereinigen, ein Teil des Ozon als Gas entweichen, ein Teil des Antozon sich mit Wasser zu Wasserstoffsuperoxyd vereinigen[2]).

Die elektrolytischen Gesetze Faradays lassen sich auf jede Zersetzung anwenden, wie durch zahlreiche spätere Untersuchungen festgestellt ist. Besondere Verdienste um diese Feststellung der Elektrolyse haben sich Wiedemann, Poggendorff und besonders Hittorf erworben, doch liegt die Aufführung dieser Untersuchungen außerhalb des Rahmens dieses Buches. Man sehe darüber Wiedemann[3]).

219. Daß auch der Strom von Reibungselektrizität dieselbe Elektrolyse bewerkstelligt, wie der galvanische, hat auch Faraday schon nachgewiesen; er ließ die Entladung eines Konduktors durch zwei mit Platinspitzen versehene Stanniolstreifen, zwischen denen die zu zersetzende Flüssigkeit (z. B. Kupfervitriol, Jodkaliumstärke, mit Glaubersalzlösung getränktes Kurkumapapier etc.) sich befand, zur Erde bewirken; an den Spitzen erfolgten die Entstehungen der respektiven Ionen, gerade wie beim Durchgang des galvanischen Stromes. Später hat Rieß diese Versuche wiederholt und bestätigt.

---

1) Annal. der Chemie und Pharm. Bd. 88. 1853.
2) Vergleiche die Franklinschen Beobachtungen auf pag. 103.
3) Wiedemann, Lehre v. d. Elektrizität. II. 1883. pag. 499—625.

Rieß konstruierte[1]) einen sehr einfachen Apparat, um auch bei ganz geringen elektrischen Kräften die Zersetzung zu erhalten; die Platinspitzen waren an isolierenden Glasstäben auf einem Stativ in horizontaler Richtung verschiebbar, welches, mit einer Skala versehen, gestattete, die Entfernung der Spitzen zu bestimmen. Die Platinspitzen ruhten auf einer Glasplatte durch ihr eigenes Gewicht; sie konnten durch geeignet angebrachte Klemmschrauben direkt mit den Leitungsdrähten vom positiven und negativen Konduktor der Maschine oder von den Polen einer trockenen Säule in Verbindung gesetzt werden. Auf die Glasplatte zwischen die Platinstifte legte man das mit der zu untersuchenden Flüssigkeit getränkte Papier. Auf diese Weise gelang es Rieß auch die Zersetzung durch den Strom einer trockenen Säule zu liefern schon bei 300 Gold- und Silberpapierscheiben unter Anwendung von Jodkaliumpapier als Elektrolyt, was vor ihm allgemein geleugnet war. Die Zersetzung des Wassers freilich gelingt auf diese Weise nicht leicht. Faraday erklärte die früheren Versuche in dieser Richtung für zweifelhaft; es war ihm selbst nicht gelungen, entscheidende Versuche zu machen; erst Armstrong gelang es 1843 durch Anwendung seiner weiter unten zu besprechenden Dampfelektrisiermaschine, die Wasserzersetzung durch die Reibungselektrizität sehr wahrscheinlich zu machen.

220. Für uns ist es am interessantesten zu verfolgen, wie man sich den Vorgang bei der Elektrolyse dachte. Davy[2]) hatte angenommen, daß die + Elektrode anziehend wirke auf Sauerstoff und Säuren, die — aber abstoßend auf dieselben; dagegen würden Wasserstoff und die Metalle von der — Elektrode angezogen, von der + aber abgestoßen, und diese anziehenden und abstoßenden Kräfte seien stark genug, die chemische Affinitätskraft zu überwinden, daher folge die Zersetzung. Davy nimmt also an, daß die durch die Zersetzung entstehenden Körper schon vorher einen ganz bestimmten elektrischen Charakter haben, die einen sind +, die anderen —. Das muß ihn naturgemäß führen zu der Anschauung, daß auch die chemische

1) Rieß, die Lehre von der Reibungselektrizität. II. pag. 58.
2) Phil. Transact. 1807. 1 und Gilb. Annal. XXVIII. pag. 161.

Affinität eigentlich nichts anderes sei als eine elektrische Kraft und sich demnach eigentlich nur ein + Radikal und ein — Radikal miteinander verbinden könnten.

Das war natürlich unhaltbar, deswegen wurde von Berzelius[1]) eine Änderung insofern vorgeschlagen, als er die + und — Elektrizität an den Radikalen erst durch ihre Verbindung entstehen lassen wollte, so zwar, daß ein Radikal zunächst ohne eine bestimmte Elektrizität sei, sobald aber ein anderes sich mit ihm chemisch verbinde durch die Berührung beider, beide in einem bestimmten Sinne entgegengesetzt elektrisch würden; bei der Elektrolyse komme dieser Charakter dann wieder zur Geltung, sodaß der Vorgang in der Zersetzung selbst wesentlich nach Davyscher Anschauung vor sich gehe. Berzelius[2]) glaubte sich daher berechtigt, der elektrischen Spannungsreihe entsprechend eine elektrochemische Reihe aufzustellen, in welcher stets in der Verbindung eines vorhergehenden Körpers mit einem folgenden der erstere elektronegativ ist, der folgende elektropositiv; das negativste Radikal ist dann der Sauerstoff, dem schließen sich Schwefel, Selen, die Salzbildner etc. an, und das äußerste am + Ende ist Kalium.

Mit veranlaßt wurde Berzelius zu dieser Theorie durch seine falsche Anschauung von der Bildung eines Salzes; seit Daniell gezeigt hat, daß in einem Salz das wichtige ist: ein Metall einerseits und dem gegenüber der gesamte andere Atomenkomplex, ist die Berzeliussche Ansicht, daß Säure und Basis zusammen das Salz bilden, verschwunden.

Seit sich endlich durch die späteren Untersuchungen, namentlich durch die Hittorfs, herausgestellt hat, daß die Reihenfolge der Körper durchaus nicht so absolut feststeht, daß vor allen nicht je zwei aus der Reihe herausgegriffene Körper stets eine Verbindung geben, und daß, wenn sie es thun, noch gar nicht gesagt ist, daß diese Verbindung durch Elektrolyse direkt zersetzbar wäre, ist man von der Berzeliusschen Reihe abgekommen und hat nun jede Lösung oder jedes Elektrolyt direkt zu untersuchen, wobei das Fara-

1) Schweigg. Journal VI. pag. 120.
2) Lehrbuch der Chemie 1843. pag. 118.

daysche[1]) Resultat immerhin als Richtschnur dienen kann, daß nämlich in allen bisher untersuchten Elektrolyten der etwa vorhandene Sauerstoff Anion, also elektronegativ ist, während die Metalle das Kation repräsentieren, also positiv sind.

221. Den Vorgang in der Flüssigkeit selbst hat zuerst viel früher, als alle diese Untersuchungen angestellt wurden, wesentlich richtig ein Privatmann, ein deutsch-russischer Gutsbesitzer Freiherr v. Grothuß, erklärt. Er veröffentlichte in Rom 1805, wo er zu seiner Ausbildung weilte, im Alter von zwanzig Jahren ein Memoire über die Wasserzersetzung und die Lösungen, worin er seiner Zeit wesentlich vorauseilte; deswegen habe ich ihn in dem betreffenden Abschnitt nicht erwähnt. Ausführlicher findet sich seine Ansicht im Jahre 1820 ebenfalls in einer Monographie[2]) dargestellt. Seine Idee ist kurz folgende.

Jedes Atom hat eine Menge neutraler Elektrizität; bei einer Verbindung mit einem andern teilt sich die gesamte neutrale Elektrizität, sodaß das eine Atom +, das andere — wird. Nach ihm ist also z. B. Wasser[3]) so zu denken, daß es polarelektrisch ist, der Wasserstoff +, der Sauerstoff — elektrisch. Sobald nun zwei Elektroden, eine positive und eine negative, in das Wasser gesetzt werden, so wird zunächst auf die nach allen Richtungen gekehrten Pole der Wassermoleküle eine richtende Kraft ausgeübt, sodaß jetzt der Wasserstoff als + Radikal nach der Seite der — Elektrode, der Sauerstoff als — Radikal zur + Elektrode schaut. Diese Richtung geht durch die ganze Flüssigkeitsschicht hin. Jetzt tritt der zweite Akt ein durch die Anziehung der Anode auf den benachbarten Sauerstoff und der Katode auf den benachbarten Wasserstoff; es wird in den zunächstliegenden Wassermolekülen der Sauerstoff und Wasserstoff getrennt, sodaß an der Anode der Sauerstoff sich an die Platte legt, an

1) Pogg. Annal. Bd. 33. 1834. pag. 433.

2) Physich.-chemische Forschungen. Nürnberg 1820, besonders pag. 115.

3) Da nach neueren Untersuchungen Wasser kein gutes Beispiel ist, könnte man z. B. Jodkalium oder dergleichen nehmen; theoretisch ist das einerlei.

der Katode der Wasserstoff. Der auf diese Weise an der Anode übrig bleibende Teil Wasserstoff vorbindet sich mit dem Sauerstoff des zweiten Moleküls zu Wasser, der Wasserstoff des zweiten mit dem Sauerstoff des dritten wieder zu Wasser etc., bis endlich der Wasserstoff des ehemals vorletzten sich mit dem Sauerstoff, welcher durch die Zersetzung des letzten Wassermoleküls durch die Katode übrig geblieben war, zu Wasser verbindet, sodaß das Bild jetzt folgendes ist: an der Anode liegt ein Molekül Sauerstoff, dann folgen eine Reihe Moleküle Wasser, wo der Sauerstoff der Katode, der Wasserstoff der Anode zugewandt liegt, bis endlich an der Katode ein Doppelmolekül Wasserstoff liegt. Beide Gase an den Elektroden entweichen und auf die zwischenliegenden Wassermoleküle üben die Elektroden zunächst wieder die richtende Kraft aus. Diese Erklärung ist wesentlich bis auf die neueste Zeit geblieben, wenn wir von der ersten Hypothese, dem polaren Zustand der Moleküle vor der Einfügung der Elektroden, absehen.

222. Im Jahre 1857 hat Clausius[1]) auf eine Schwierigkeit hierbei aufmerksam gemacht, nämlich die, daß da zu der Trennung der Atome in den Wassermolekülen eine bestimmte Kraft erforderlich sei, diese erst eintrete bei einer gewissen Stromstärke. Da nun weiter die Elektrolyte die Elektrizität nur leiten, wenn sie zersetzt werden, müßte unter dieser Grenze überhaupt kein Strom stattfinden, dann aber ein solcher gleich von beträchtlicher Intensität entstehen. Dieser Schwierigkeit entgeht er, indem er die Atome einer Flüssigkeit nicht fest verbunden annimmt, sondern nur aneinanderliegend und nun das ganze Molekül sich in Oscillation befindlich denkt, dadurch wird es möglich, daß auch bei den geringsten elektrischen Massen auf den Elektroden eine Zersetzung im Elektrolyt eintritt, da keine Richtkraft und keine Zerreißung der Moleküle selbst notwendig ist. Ich glaubte diese Theorie andeuten zu müssen, da sie im engen Zusammenhang mit der Wärmetheorie stehend viel Vertrauen erwecken muß.

Von andern Theorien möchte ich nur noch die von Mag-

1) Pogg. Annal. Bd. 101. 1857. pag. 338.

nus[1]), Hittorf[2]) und besonders die von Wiedemann[3]) dem Namen nach erwähnen, es würde mich zu weit führen auf dieselben näher einzugehen, da sie alle in die neuere und neueste Zeit fallen, und die Untersuchungen darüber noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden können. Zu verwerfen möchten ohne Zweifel diejenigen Theorien sein, wie die de la Rives[4]), die eine ganze Reihe speziell hierfür gemachter einzelner Hypothesen einschließen, von denen keine sich anderweit stützen läßt.

Die Frage, wie man sich die Polarität der Moleküle zu denken habe, ist ebensowenig wie die letztere als gelöst zu betrachten, wenn auch die von Grothus sehr unwahrscheinlich ist, und es plausibler erscheint, daß die Polarität erst, wie Magnus (l. c.) will, durch die auf den Elektroden vorhandene Elektrizität bewirkt wird, so ist doch die Art und Weise, wie das geschehen soll, eine wenig befriedigende; am glücklichsten scheint auch hier Clausius zu sein, da bei seiner Art, die Flüssigkeiten vorzustellen, es nicht auf experimentelle Schwierigkeiten stößt, anzunehmen, daß die Atome an sich elektrisch, die Molekule also in gewissem Sinne polarelektrisch gedacht werden können.

223. Bei dieser Zersetzung einer Lösung tritt nun eine von Pouillet[5]) zuerst 1835 beobachtete Erscheinung auf, daß nämlich an den Elektroden die Koncentration der Flüssigkeit geändert wird, sodaß z. B. bei der Zersetzung des Chlorgoldes an der — Elektrode eine Verdünnung der Lösung eintrat. Nach dem oben angegebenen Zersetzungsvorgang mußte diese Veränderung sich natürlich so gestalten, daß an der Anode ein halbes Äquivalent des Anion übrig blieb, an der Katode ein halbes des Kation, wie ich oben ausgeführt.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 102. 1857. pag. 102; Bd. 104. 1858. pag. 567.

2) Pogg. Annal. Bände 89; 98; 103; 106. Wiedem. Annal. Bd. 4. 1878; vergl. auch Wiedemann, Lehre v. d. Elektrizität II. 1883. pag 474—946.

3) Wiedemann, Galvanismus. Bd. 2. I. Teil. 1870. pag. 432.

4) De la Rive, Traité d'Electricite II. 1856.

5) Pogg. Annal. Bd. 65. 1845. pag. 474.

Nun beobachtete Daniell[1]) aber, daß an beiden Elektroden weniger wie ein halbes Äquivalent des zersetzten Ions vorhanden war, und durch die zahlreichen Untersuchungen Hittorfs ist es für fast alle Elektrolyte nachgewiesen, daß weniger gefunden wird wie vermutet werden mußte. Hittorf[2]) erklärt sich das durch eine sogenannte „Wanderung der Ionen“, sodaß von der Katode ein alliquoter Teil des Äquivalents des Anion zur Anode und von der Anode ein diesen Teil zu eins ergänzender Teil des Aquivalents vom Kation hinüber gewandert sei. Diese „Wanderung der Ionen“ spielt in der Theorie von Hittorf und Wiedemann eine wichtige Rolle.

Viertes Kapitel.

Konstante Elemente.

224. Die Arbeiten Faradays hatten als erste praktische Folge die Erfüllung des Wunsches den Ohm aussprach, nämlich ein Element zu besitzen, welches eine konstante elektromotorische Kraft lieferte. Unabhängig von Ohm hatte 1828 schon[3]) der Edingburger Professor Kemp versucht, die Konstanz der damals bekannten Elemente dadurch zu heben, daß er das Zink, welches sich schon durch das einfache Eintauchen in die saure Flüssigkeit auflöste, ohne der Elektrizitätserregung irgend welchen Nutzen zu gewähren, ersetzt durch flüssiges Zinkamalgam, wodurch allerdings die Zersetzung des Zink wesentlich vermindert wurde, die Polarisation aber nicht aufgehoben wurde, also die Inkonstanz blieb. Die Amalgamierung der Zinkplatten wandte Sturgeon 1830 zuerst an. Dieselbe ist seit der Zeit überall beibehalten.

Eine Beobachtung, welche der Assistent am chemischen Institut zu Halle, Fr. Wach, bei Gelegenheit seiner Arbeit[4]) über Bewegungen sich vermischender Flüssigkeiten, machte,

1) Pogg. Annal. Ergänz.-Bd. I. 1840.

2) Pogg. Annal. Bd. 89. pag. 177; Bd. 98. pag. 1; Bd. 103. pag. 1; Bd. 106. pag. 337, 513.

3) Poggendorff, Biographisches Handwörterbuch.

4) Schweigg. Journal. LVIII. 1830. pag. 20, dieser Versuch pag. 23.

indem er eine mit einer Blase verschlossene, mit Wasser gefüllte Glasröhre in ein Gefäß mit Kupfervitriol stellte und in das Gefäß einen Kupferstab, in die Glasröhre einen mit dem Kupfer verbundenen Zinkstab stellte, blieb in Bezug auf die elektrische Bedeutung dieses Vorganges ganz unbeachtet, er untersuchte nur die Endosmose dabei, und ein Späterer hat meines Wissens dies Experiment nicht benutzt um einen Schritt weiter zu kommen.

225. Unabhängig von Wach ging Becquerel vor[1]), welcher 1829 eine Säule konstruierte, die zum Teil einen konstanten Strom lieferte. Er teilte die Glaskasten, welche die Platten aufnehmen, in drei Zellen durch zwischengespannte Goldschlägerhaut, die mittelste Zelle zwischen den beiden Häuten füllte er mit irgend einer passenden Säure oder Salzlösung und die beiden äußeren Zellen, in deren eine die Kupferplatte, deren andere die Zinkplatte gestellt wurde, mit entsprechenden Flüssigkeiten. Den größten Effekt glaubte Becquerel zu erhalten, wenn er in die Zelle des Kupfers eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd gab, und in die Zelle des Zink eine gesättigte Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd. Jedoch war die Konstanz des Elementes nicht sehr bedeutend, gleich nach Schluß des Elements war die Ablenkung an seiner Tangentenbussole 84°, nach 15 Minuten 72°, nach 30 Minuten nur 68°. Konstanter wirkte die Säule, wenn er das Kupfer mit Wasser, welches $^1/_{50}$ Schwefelsäure enthielt, und das Zink mit Wasser, welches $^1/_{50}$ Schwefelsäure und $^1/_{50}$ Salpetersäure enthielt, umgab, dann waren die entsprechenden Ablenkungen 62°, 64° und 61°.

Doch ging Becquerel hierbei nur empierisch zu Werke, erkannte jedoch den Nutzen ziemlich richtig, indem er sagt, daß die passende Wahl der Flüssigkeiten eben zur Folge habe, daß die Niederschläge auf den Elektroden, welche die Verminderung der elektromotorischen Kraft bewirkten, aufgelöst würden.

226. Systematischer verfährt Daniell.[2]) Fußend auf den Faradayschen Untersuchungen, stellte er sich die Auf-

---

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 282 und 283.
2) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 272 ff.

gabe, die Kette so zu konstruieren, daß 1) das Zinkoxyd entfernt werde, 2) das am Kupfer frei werdende Wasserstoffgas ohne Fällung einer dies Metall verschlechternden Substanz absorbiert werde.

Zu dem Zweck nahm Daniell einen Kupfercylinder, welcher oben offen war und im Boden ein Loch hatte, durch welches ein Korkpfropfen gesteckt werden konnte. Durch diese untere Öffnung zog er eine Ochsengurgel bis zur Höhe des Cylinders hinauf und befestigte sie hier durch einen umgewickelten Faden an einer dazu passenden Kupferhülse, welche durch zwei horizontale Arme gerade senkrecht über dem unteren Loche auf dem Kupfercylinder ruhte. Darauf klemmte er die Gurgel durch den Korkpfropfen in dem unteren Loche des Kupfercylinders fest, sodaß der Cylinder jetzt in zwei Abteilungen zerlegt war, die innere Kammer innerhalb der Gurgel, die äußere Hohlcylinderschicht zwischen der Kupferwandung des Cylinders und der Gurgel. Die obere Hülse, woran die Gurgel hing, bedeckte Daniell durch eine Holzplatte, durch welche in der Mitte ein amalgamierter Zinkstab von mäßiger Dicke bis dicht über den unteren Kork hinabragte und durch welche excentrisch ein kleiner Trichter ragte. Der untere Kork wurde durch eine Glasröhre, die zweimal rechtwinklig umgebogen wurde, durchbrochen, der außerhalb des Elements hinaufragende Arm reichte bis nahe zur Höhe des Elements und war hier seitlich abgebogen, um das zu hohe Ansteigen der Flüssigkeit zu verhindern. Um nämlich das sich bildende Zinkoxyd abzuleiten, wurde, nachdem die Gurgel mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt war, durch den kleinen Trichter fortwährend etwas frische Säure zugeführt, das schwerere Zinkoxyd sank zu Boden und wurde durch die im Kork vorhandene Glasröhre abgeführt. In den äußeren Raum that Daniell koncentrierte Kupfervitriollösung.

Jetzt entstand bei Schluß des Elements am Kupfer auch kein Wasserstoff, sondern es bildete sich ein schöner roter Überzug von niedergeschlagenem Kupfer, doch bemerkte er eine dadurch bedingte Verminderung der Koncentration, um die zu vermeiden brachte er ein Kupfersieb, welches auf dem Rande des Cylinders ruhend bis in die Vitriollösung

hineinragte, an, auf dieses legte er einige schwefelsaure Kupferoxydstücke, welche sich allmählich auflösten und dadurch die Lösung stets koncentriert erhielten. Diese Kette, welche nur im ersten Augenblicke eine etwas größere elektromotorische Kraft hat, wie nachher, lieferte Daniell einen sechs Stunden lang völlig konstanten Strom und erwies sich bedeutend stärker als die bis dahin üblichen inkonstanten Elemente selbst unmittelbar nach ihrer Schließung.

227. Eine wesentliche Verbesserung erfuhr das Daniellsche Element gleich nach seiner Entdeckung durch Gassiot, welcher die Ochsengurgel, die immerhin unbequem ist, durch einen porösen Thoncylinder ersetzte; dann fällt natürlich das heberförmig gebogene Glasrohr fort, und es tritt dann der Übelstand ein, daß das zersetzte Zink am Boden des Thongefäßes liegen bleibt. Einer schädlichen Einwirkung durch Berührung mit dem Kupfervitriol kann man aber entgegenwirken durch Überziehen des unteren Teils des Thoncylinders mit Parafin.

Eine große Reihe Physiker haben sich bis auf den heutigen Tag mit der Verbesserung des Daniellschen Elementes beschäftigt, unter ihnen sogar der verflossene Kaiser der Franzosen, damals noch Prinz Napoleon. Die meisten von ihnen haben aber keine wesentliche Verbesserung, oft nur Verschlechterung gebracht. Besonders erwähnenswert sind die Anordnung von Siemens[1]) und die Meidingers[2]), beide aus dem Jahre 1859, die sehr dauerhaft konstante Ströme liefern und dadurch, daß nur eine Flüssigkeit (bei Siemens Wasser, welches am Kupfercylinder durch Zusammentreffen mit Kupfervitriolstücken von selbst eine Lösung dieses Körpers herstellt, und dem für die Umgebung des Zinkcylinders, welcher in Form eines Doppelbleches den oberen Teil des Glasbechers einnimmt, ein wenig Schwefelsäure zugesetzt wird; bei Meidinger Bittersalzlösung, welche das in Stücken vorhandene Kupfervitriol ebenfalls zu einer Vitriollösung auflöst) eingefüllt zu werden braucht, eine sehr bequeme Handhabung ermöglichen. Diese Elemente halten

---

1) Pogg. Annal. Bd. 108. pag. 608.
2) Pogg. Annal. Bd. 108. pag. 602.

sich so lange konstant, als ungelöstes Kupfervitriol vorhanden ist. Die vielen anderen Formen haben kaum historisches Interesse.

228. Wenige Jahre nach der Erfindung des Daniellschen Elementes trat ein anderer Engländer, W. R. Grove[1]), ebenfalls mit einem konstanten Element auf, welches nahezu ebenso konstant ist und bedeutend kräftigere Ströme liefert wie das Daniellsche. Den Kopf einer Thonpfeife verschloß Grove an seiner unteren Durchbohrung durch Kitt, füllte den Kopf mit verdünnter Schwefelsäure, in welche ein amalgamiertes Zinkstück tauchte, und setzte den Kopf in ein Glasgefäß mit Salpetersäure gefüllt, in welches ein Platincylinder tauchte. Beim Schließen zeigte sich keinerlei Schwächung des Stromes und war der Strom stärker, wie er ihn bei seinen anfänglichen Versuchen gefunden hatte, als er in beide Flüssigkeiten ein Goldblech gesenkt hatte.

Den ersteren Versuch vervollkommnete Grove durch andere Anordnung des Elementes und Ausführung in größerem Maßstabe, indem er parallelopipedische Glaströge anwandte und ebensolche Thonzellen, dann in die Thonzelle die konzentrierte Salpetersäure brachte und ein Platinblech, während zwischen der Thonzelle und dem Glascylinder sich verdünnte Schwefelsäure mit die Thonzelle umhüllenden, amalgamierten Zinkplatten befindet. Auch hier wird die Bildung des störenden Wasserstoffs durch die Salpetersäure vermieden, indem derselbe der Säure Sauerstoff entzieht und sich mit diesem zu Wasser verbindet; die dadurch entstehende Untersalpetersäure entweicht teils als brauner Dampf, teils vermischt sie sich mit der noch vorhandenen Salpetersäure, diese grün färbend. Dies Element ist also so lange konstant, als koncentrierte Salpetersäure vorhanden ist.

229. Auch das Grovesche Element ist verbesserungsfähig gewesen, und abgesehen von dem Ersatz für das Platin, wovon wir gleich sprechen werden, ist in seiner Form eine Änderung zum Bessern angebracht, soviel ich sehe zuerst von Poggendorff 1841[2]) ausgeführt. Er ersetzt die teuren parallelopipe-

1) Phil. Mag. Ser. III. Bd. XV. 1839.

2) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 420—430, spez. 425.

dischen Zellen durch Cylinder, wendet dem entsprechend auch Zinkcylinder an und setzt in die Thonzelle ein S-förmig gebogenes, sehr dünnes Platinblech, welches am oberen Ende umgelegt ist, um etwas stärker zu werden und in einen Thondeckel gesteckt zu werden, der es trägt, und in welchem die Berührung des Platinbleches mit dem hineinragenden Kupferdraht bewerkstelligt wird. Durch diese S-förmige Biegung des dünnen Platinbleches wird eine möglichst große Berührungsfläche geschaffen und daher die elektromotorische Kraft des Elementes erhöht; da dies Blech aber sehr dünn sein kann, werden die Anschaffungskosten ermäßigt. Eine spätere Modifikation Poggendorffs ist wenig oder gar nicht zur Anwendung gekommen, während diese Form fast überall angewandt ist.

Eine andere Modifikation, die ich in einzelnen physikalischen Kabinetten noch gefunden habe, rührt von Oerstedt her, welcher, um die teuren Platinplatten zu vermeiden, Thoncylinder an der Außenseite mit Chlorplatin überzog, allein die Vorrichtung, welche auch von Pfaff sehr empfohlen wurde, hat sich praktisch nicht bewährt.[1]) Bis in die neueste Zeit ist die Grovesche Kette Gegenstand der Untersuchung gewesen, da sie als konstantes und starkes Element in der Achtung der Physiker noch immer obenan steht. Die elektromotorische Kraft desselben ist besonders von Riecke[2]) und Fromme[3]) bestimmt worden.

Aus dem Groveschen Element ist nun ein anderes hervorgegangen, welches ebenfalls konstant ist und in wissenschaftlichen Untersuchungen auch häufige Verwendung findet. Schon Cooper, ein Landsmann Groves, ersetzte das teuere Platin 1840 durch eine Platte aus Kohle oder Graphit und Schönbein[4]) führte die Retortenkohle statt dessen ein. Die Retortenkohle ist der Rückstand, der an den Wänden der Retorte beim Gaserzeugen aus Steinkohlen sich bildet.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 53. 1841. pag. 381.
2) Wied. Annal. Bd. 8. 1879. pag. 183.
3) Nachrichten von der Ges. der Wissenschaft zu Göttingen. 1879. pag. 135—159.
4) Pogg. Annal. Bd. 49. 1840. pag. 589.

230. Eine wesentliche Modifikation erfuhr die Verwendung der Kohle durch Bunsen[1]), welcher aus einem Gemenge von Steinkohlen und Coaks durch einen heftigen Glühprozeß eine sehr poröse, aber außerordentlich feste, fast metallglänzende Kohle herstellte, die dem Platin in der Spannungsreihe sehr nahe steht, und die Bunsen eine bedeutend höhere Stromintensität lieferte wie das Grovesche Platin. Die Anordnung, welche Bunsen dem Element gab, welche heute freilich wieder verlassen ist, bestand darin, er formte aus der Kohle eine Zelle, in welche er mit konzentrierter Salpetersäure gemischten Sand schüttete. Die Salpetersäure dringt in die Poren der Kohle ein und durchtränkt diese vollständig, sodaß auch die äußere Oberfläche feucht wird. Diesen Cylinder setzt Bunsen direkt in das Glasgefäß, in welchem der Zinkcylinder in verdünnter Schwefelsäure steht; er vermeidet dadurch die Thonzelle. Da diese jedoch sehr billig ist, die Durchtränkung der Kohle mit Salpetersäure aber für den wiederholten Gebrauch störend ist, da gerade an der wirksamen äußeren Oberfläche die Säure durch den oben beschriebenen Prozeß verschlechtert wird, gab Bunsen 1844 diese Konstruktion selbst wieder auf und kehrte zu der Cooperschen Anordnung zurück, nur daß er seine Kohle künstlich präparierte. Die elektromotorische Kraft dieser Kette ergab sich bei den vielen Versuchen, die seit Poggendorff damit angestellt sind, als nahezu gleich der des Groveschen Elementes, also etwa 1,8 mal so groß wie die Daniells.

231. Nahezu gleichzeitig mit diesen Elementen brachte der Engländer Hawkins[2]) eine Kette in Vorschlag, die eine höchst merkwürdige Entdeckung zur Voraussetzung hat. Schon 1790 hatte Keir bei seinen Versuchen, Silber aus salpetersaurem Silber durch Eisen zu fällen, bemerkt, daß aus sehr koncentrierten Lösungen das Silber niemals gefällt werde, daß, wenn man eine nicht gesättigte Lösung nehme, anfangs zwar eine geringe Menge Silber gefällt werde, dies aber aufhöre nach kurzer Zeit und sogar dann das gefällte Silber sich wieder auflöse, und daß die Fällung wieder eintrete, sobald das Eisen heraus-

1) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 417.
2) Phil. Mag. Bd. 16. 1840. pag. 115.

genommen und abgeschabt werde. Dieselbe Entdeckung machte unabhängig hiervon Wetzlar 1827. Seit der Zeit beschäftigten sich die Chemiker häufig mit dieser Erscheinung der Wirkungslosigkeit des Eisens, welche von Schönbein den Namen „Passivität" erhielt[1]).

In einen Zusammenhang mit der Elektrizität mußte diese chemische Entdeckung sogleich treten, nach den Beobachtungen Oersteds 1821 und Yelins 1823 über das merkwürdige elektromotorische Verhalten nacheinander in ein und dieselbe Flüssigkeit eingetauchter Drähte desselben Metalls, welches von Fechner[2]) näher untersucht wurde und ihn zu dem allgemeinen Satz brachte, daß von zwei in eine Säure (Wasser) nacheinander getauchten Drähten ein und desselben Metalls fast durchweg das zuerst eingetauchte elektropositiv ist gegen das zweite; jedoch hängt das wesentlich ab von dem Koncentrationsgrade der Flüssigkeit. So z. B. ist bei Eisen der zuerst eingetauchte Draht positiv in verdünntem salpetersauren Silberoxyd, aber negativ in koncentrierten Lösungen, stellt man aber einen mittleren Koncentrationsgrad her, so ist das Eisen zuerst wohl positiv oder negativ, dann aber wird es passiv.

232. Schönbein faßte dies (l. c.) auf als einen chemischen Vorgang. Die Passivität des Eisens ist entstanden durch Bildung einer Oxydschicht; das Eisen wird wieder aktiv, sobald diese Schicht zerstört wird, sei es durch mechanische Mittel oder durch chemische. In England, wo Schönbein seine Versuche zuerst veröffentlichte, trat Faraday vor allem auf seine Seite und bekräftigte seine Ansicht besonders durch Versuche mit angelassenen Eisendrähten, welche ebenfalls passiv erschienen. Schwierigkeiten machte diese Theorie Schönbein, als er die sogenannten Pulsationen entdeckte[3]), indem nämlich ein passiver Eisendraht, wenn er in der Säure kurze Zeit an einer Stelle durch einen Kupferdraht berührt wird, plötzlich aktiv erscheint; seine ganze Oberfläche bedeckt sich mit Wasserstoffbläschen

---

1) Pogg. Annal. Bd. 37. 1837. pag. 390 und 590.

2) Biot, Lehrb. d. Experim. Physik. Deutsch v. Fechner. Bd. 3. 1829. pag. 416 ff.

3) Pogg. Annal. Bd. 38. 1836. pag. 444 und 493.

und eine Zeitlang besteht diese Entwickelung, bis wieder an der Stelle der Berührung Passivität eingetreten ist und nun der an den übrigen Teilen der Drahtoberfläche gebildete Wasserstoff die Stelle eines + Elementes übernimmt und die Wirkungsweise eine entgegengesetzte wird. So wechselt Aktivitätszustand mit Passivitätszustand fortwährend ab, bis schließlich der ganze Draht aktiv erscheint.

Diese und ähnliche Versuche bestimmten Mousson[1]) anzunehmen, daß es eine Gasschicht sei, die auf der Oberfläche des Eisens die Passivität hervorrufe. Es solle sich nämlich eine Schicht koncentrierter salpetriger Säure bilden durch Entziehen eines Teils Sauerstoff von der Salpetersäure, und diese Schicht überziehe das Eisen. Die Unmöglichkeit dieser Theorie zeigte Faraday in England, Schönbein und besonders auch Ohm und Fechner in Deutschland, bis endlich nach langem und heftigem Streiten v. Beetz[2]) in einer Reihe von Arbeiten in den Jahren 1844 bis 1846 die alte Schönbein-Faradaysche Theorie, daß sich eine Oxydschicht bilde, welche in Salpetersäure unlöslich eine weitere Einwirkung auf das Eisen verhindere, selbst aber gegen Eisen negativ sich verhalte und dadurch einen dem vor der Bildung dieser Schicht bestehenden Strome entgegengesetzten Strom bedinge, bestätigte. Es ist durch alle diese Versuche und besonders auch durch die Fechners[3]) nachgewiesen, daß dieselbe Erscheinung, wie am Eisen, vielen Metallen gemeinsam ist, daß es eine allgemeine, auf chemischen Wirkungen des Stromes beruhende ist. Es fällt daher diese ganze Angelegenheit direkt mit den Polarisationserscheinungen zusammen, und besonders die „Pulsationen", der häufige Wechsel der Stromesrichtung in geeigneten Kombinationen, z. B. bei einer Kupfer- und Eisenplatte in koncentrierter Lösung von salpetersaurem Silber, ist nur durch die wechselnde Polarisation zu erklären.

233. Auf diese Thatsachen gründete sich Hawkins Element, von dem er zwei Formen angiebt: 1) Eisen in koncentrierter

1) Biblioth. univers. 1836. pag. 165.
2) Pogg. Annal. Bd. 62. 1844. pag. 234. Bd. 67. 1846. pag. 365 u. 186.
3) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. pag. 1.

Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure, 2) Eisen in koncentrierter Salpetersäure und Eisen in verdünnter Schwefelsäure. In beiden Fällen wird das Eisen in der Salpetersäure stark negativ elektrisch, es ist daher die erste Form nahezu ebenso stark wie das Grovesche Element, doch ist bei längerem Gebrauch die das Eisen überziehende Schicht nicht beständig genug, sie löst sich leicht ab und es entsteht dann aktives Eisen, welches sich in Salpetersäure auflöst. Die zweite Form liefert nur sehr schwache Ströme, da das Eisen in der Schwefelsäure nur wenig positiv gegen das in der Salpetersäure ist. Die erste Form des Elementes hat sich bis auf den heutigen Tag noch erhalten.

234. Auch die Säuren wurden vertauscht durch Bunsen[1]; er versuchte eine Lösung von chromsaurem oder chlorsaurem Kali oder eine Chlormischung aus Kochsalz und Braunstein an die Stelle der Salpetersäure zu setzen, allein nicht mit dem gewünschten Erfolge.

Jedoch die Bunsensche Chromsäure blieb nicht vergessen. Poggendorff[2]) untersuchte die Wirkung derselben und fand dieselbe sehr geeignet zum Ersatz der Salpetersäure; später ist dann von Fromme (l. c.) gezeigt, daß die Chromsäure die Kraft einer gewöhnlichen Kette mit Salpetersäure etwa um 4 Proz. erhöhte. Die Chromsäurelösung wurde von Poggendorff in folgendem Verhältnis hergestellt: doppeltchromsaures Kali 3 Teile, Schwefelsäure 4 Teile, Wasser 18 Teile. Buff[3]) giebt folgendes Rezept: 100 Teile Wasser, 12 Teile doppeltchromsaures Kali, 25 Teile Schwefelsäure (H_2SO_4). Endlich giebt Bunsen seine spätere Mischung an[4]) zu: Wasser = 604,7 Teilen, doppeltchromsaures Kali = 61,82, Schwefelsäure = 115,7. Besonders wichtig ist diese Säure wegen ihrer Anwendung in der sogenannten Chromsäurekette, wo sie allein die einzige Flüssigkeit ist. Es ist ja sehr unbequem, immer zwei Säuren einfüllen zu müssen, und hat man sich daher von

1) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 420.
2) Pogg. Annal. Bd. 57. 1842. pag. 101.
3) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 497.
4) Wiedemann, Lehre von der Elektrizität. I. 1882. pag. 740.

Anfang an bemüht auch mit einer Flüssigkeit konstante Elemente herzustellen. Schon Fechner giebt in seinen Maßbestimmungen an, daß die Konstanz des gewöhnlichen Zink-Kupferelementes erhöht werde, wenn man die der Zinkplatte zugewandte Seite des Kupfers mit Salmiaklösung bestreiche. Konstant ist ein solches Element aber keineswegs.

Die Bunsensche Zink-Kohlenkombination erwies sich auch hierin als sehr vorteilhaft, indem man die verdünnte Schwefelsäure einfach fortlassen kann und die Salpetersäure durch Chromsäure ersetzt. In dieser Form Zink und Kohle in Chromsäure, ist die Bunsensche Kette praktisch als Tauchbatterie von allerhöchster Wichtigkeit geworden, sie wird immer da mit Nutzen angewendet, wo es sich nicht darum handelt, ein völlig konstantes Element zu haben, sondern nur ein eine gewisse Zeitlang nahezu konstantes Element vorzufinden.

Es ist eine wenig bekannte und doch sehr beachtenswerte neuere Methode, statt des doppeltchromsauren Kalis, welches wegen der bei der Zersetzung sich am Boden der Gefäße bildenden, schlecht zu beseitigenden Kalikrystalle, unbequem ist, direkt krystallinische Chromsäure anzuwenden, welche keinen Bodenniederschlag giebt und nach längerer praktischer Anwendung sehr empfohlen werden kann.

Die Elemente sind solange nahezu konstant, als noch ungelöste Chromsäurekrystalle vorhanden sind; hört die Ersetzung der Koncentration durch Auflösen dieser überschüssigen Krystalle auf, so nimmt die elektromotorische Kraft schnell ab. Versuche mit doppeltchromsaurem Kali sind angestellt von J. Müller in Freiburg 1872.[1])

Um die Kohlen, welche fast immer etwas Schwefel enthalten, vor der Entwicklung von Schwefelwasserstoffgas zu schützen, wendet Böttger 1856 ein Verfahren an, was sich allgemein eingebürgert hat; man legt die Kohle in koncentrierte Salpetersäure und läßt sie damit durchtränken, sodann läßt man sie einen halben Tag an der Luft stehen.[2])

235. Von den unzählig vielen neueren Elementen sollen nur

1) Wiedemann, Lehre v. d. Elektrizität I, pag. 745.

2) Pogg. Annal. Bd. 99. 1856. pag. 233.

noch wenige besonders wichtige erwähnt werden. 1868 zeigte der Kreisphysikus Dr. Pincus aus Insterburg auf der Naturforcherversammlung in Dresden eine äußerst kompendiöse Kette[1]), die sich besonders in medizinischen Kreisen höchster Anerkennung zu erfreuen hatte, es ist die sogenannte Chlorsilberkette. In ein Reagiergläschen von 7—8 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Breite goß er bis zu $^4/_5$ Füllung verdünnte Schwefelsäure oder Chlornatriumlösung, tauchte bis zum Boden ein kleines fingerhutartiges Gefäß aus reinem Silberblech, mit Chlorsilber gefüllt. Dies Gefäß war an einem durch Guttapercha isolierten Draht gelötet, der oben aus dem Glase hervorragt. In die obere Flüssigkeit ragt ein Stück amalgamierten Zinks von etwa einen Quadratzoll Oberfläche; das Ganze ist durch einen Kork, durch welchen die Drähte herausragen, verschließbar. Die elektromotorische Kraft dieses Miniaturelementes ist gleich der des Daniellschen, nach Versuchen von Paalzow und Matthießen.

Die Konstanz beruht auf der sehr leichten Zersetzbarkeit des Chlorsilbers durch den Strom; an der negativen Elektrode wird also die Bildung des Wasserstoffs durch Oxydation desselben beseitigt und so jede Polarisation vermieden. Diese Konstanz dauert, solange noch etwas Chlorsilber unzersetzt ist. Da die Elemente so klein und das Chlorsilber durch seine Schwere schon ganz von selbst am Boden bleibt, sind diese Ketten zum Transportieren in fertigem Zustande sehr geeignet, schon vier Elemente liefern starke Wasserzersetzung, mit zehn Elementen hat man deutliche physiologische Wirkungen, bei 20 Elementen schon starke Muskelzuckungen, und dabei nehmen 40 Elemente noch nicht den Raum eines halben Kubikfußes ein. Dieselbe Kette ist im Herbst des Jahres unabhängig von Pinkus, auch von Warren de la Rue und H. Müller konstruiert, nur mit dem Unterschied, daß diese das Chlorsilber in Form eines um einen Silberdraht gegossenen Cylinders anwenden, statt des Pincusschen Chlorsilberpulvers.[2])

Gleichzeitig mit dieser Kette von Pincus trat Leclanché[3])

1) Pogg. Annal. Bd. 135. 1868. pag. 167.

2) Pogg. Annal. Bd. 135. 1868. pag. 496 und Comptes rendues Bd. 67. pag. 794.

3) Dingler, Journal Bd. 186 und 188.

mit seiner so verbreiteten Kette auf, die an Einfachheit nichts zu wünschen übrig läßt und sehr konstante Ströme liefert für nicht zu große Intensität. Die erste Form war: in eine Thonzelle füllte Leclanché zu gleichen Volumenteilen grobgepulvertes Mangansuperoxyd mit Retortenkohlenstücken gemischt, und koncentrierte Salmiaklösung, dahinein ragt eine Kohlenplatte. Diese Thonzelle setzt er in ein weiteres Glasgefäß, welches mit derselben Flüssigkeit gefüllt ist und taucht als positives Metall einen amalgamierten Zinkcylinder hinein. Später[1]) stellte er das Element noch kompendiöser her, indem er statt der Thonzelle einen aus 40 Teilen Mangansuperoxyd, 55 Teilen Retortenkohle und 5 Teilen Schellack gegossene Cylinder als negative Platte verwendet und nun den Zinkcylinder durch ein dünnes Holzbrett von diesem getrennt durch zwei Gummibänder damit fest verbindet. Diese Kombination wird dann einfach in das Glasgefäß mit Salmiaklösung eingesetzt. Nach vielen Wochen zeigt sich noch keine Veränderung an dem Element.

Fünftes Kapitel.

Sekundäre Elemente und Galvanoplastik.

236. Während diese Elemente alle sich die Aufgabe stellen, einen konstanten Strom herzustellen durch möglichste Beseitigung der Polarisation, sind neuerdings auch Apparate konstruiert, welche gerade die entstandene Polarisation benutzen, um in sogenannten sekundären Elementen einen Strom für kürzere Zeit von ziemlich konstanter Kraft herzustellen. Obwohl die Wissenschaft in diesen Versuchen wenig neues gelernt hat, sei es mir doch erlaubt, wegen der technischen Bedeutung dieser Polarisationsbatterien einiges hier einzufügen. Die Sache selbst ist nämlich sehr alt. Bei den Fechnerschen und Ohmschen Versuchen habe ich bereits auf die unter Umständen eintretende Umkehr der Stromesrichtung aufmerksam gemacht, darin liegt aber bereits das ganze Geheimnis. Schon Ohm hatte, wie angeführt, die Entstehung dieser Erscheinung als eine durch che-

1) Comptes rendues Bd. 83. pag. 54.

mische Änderung bedingte angesprochen. Will man genau sein, so hätte man diese in zwei Gruppen zu teilen, es kann einmal durch eine Anhäufung von Gas, z. B. durch Anhäufen von Wasserstoff auf einer als negative Elektrode dienenden Platinplatte, andernfalls durch eine Oxydationsschicht auf der Elektrode, z. B. beim Eisen durch Bildung von Eisenoxyd, eine Polarisation erfolgen. Wie dem auch sei, jedenfalls sind die chemischen Wirkungen die Ursache der Polarisation.

Der Erste, welcher diese Polarisation selbst als Stromerzeugung benutzte, war wohl Daniell.[1]) Er verwandte ein Element aus Platin und amalgamiertem Zink in verdünnter, mit etwas Salpetersäure gemischter Schwefelsäure. In den Schließungsbogen dieser Kette fügt er eine Zelle mit denselben Metallen aber in Jodkaliumkleister, und verbindet das Platin dieses Elementes mit dem Platin des ersten, ebenso Zink mit Zink. Die beiden Elemente wirken also entgegengesetzt, aber da die elektromotorische Kraft des ersten bedeutend stärker ist, wie die des zweiten, so geht der Strom im Sinne des durch das erste Element allein bedingten Stroms, und im zweiten Element wird Jod auf der Platinplatte reichlich niedergeschlagen. Schloß er nun das zweite Element allein, so kämpfte der durch den Zink-Platinkontakt hervorgerufene Strom mit dem durch die Zersetzung des Kleisters bedingten und der am Platin erzeugte Wasserstoff läßt das vorher niedergeschlagene Jod wieder verschwinden.

Die erwähnte Ladungssäule Ritters ist das erste Beispiel einer Polarisationsbatterie durch Gasentwicklung. Die letztere zeigt sich besonders an Platinelektroden, welche in verdünnter Schwefelsäure stehen. Der an der negativen Elektrode auftretende Wasserstoff haftet derartig an der Platte, daß selbst nach verschiedenen Abwaschungen Golding Bird noch einen Polarisationsstrom beobachtete.[2]) Man hat bei solchen durch Ablagerung von Gasen entstehenden Polarisationsketten dieselben Kräfte wirksam, wie bei den von Grove entdeckten Gassäulen[3]).

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 265.
2) Phil. Mag. Bd. 13. 1838. pag. 381.
3) Phil. Mag. Bd. 14. 1839. pag. 129.

welche durch Kondensation verschiedener Gase auf Metallplatten entstehen. Grove fand z. B. Platin in Wasserstoff positiv gegen Platin in Sauerstoff. Von Schönbein wurde hierbei aber bemerkt, daß die durch Polarisation erzeugten Gasketten sich etwas anders verhalten, wie die direkt erzeugten Groveschen Ketten. Er zeigte nämlich, daß der in Sauerstoff getauchte Platindraht sich gegen einen in Wasser getauchten völlig indifferent zeige, dagegen nicht der durch die Polarisation mit Sauerstoff beladene, das leitet Schönbein[1]) ab aus der im letzteren Fall eintretenden Ozonisierung.

237. Die elektromotorische Kraft dieser Polarisation, sowohl der in einer Zersetzungszelle, wie der im primären Element selbst hervorgerufenen, ist von Poggendorff[2]) in einer hierfür klassischen Arbeit untersucht und gemessen worden, wir werden die Methode in dem Abschnitt über die Meßmethoden kennen lernen; hier sei nur erwähnt, daß er die Thatsache der Polarisation damit über allen Zweifel erhoben hat, und über die Größe der Polarisation zu folgenden Resultaten kommt:

1. Die Polarisation wächst mit der Stärke des primären Stromes. 2. Sie wächst bei konstanter Intensität des Stromes mit Verkleinerung der Elektroden. (Von Crova sind diese beiden Sätze zusammengezogen: Die Polarisation wächst mit der durch den Querschnitt 1 in der Zeit 1 gehenden Elektrizitätsmenge, der Dichtigkeit, des primären Stromes bis zu einem Maximum).[3]) 3. Die Polarisation ist abhängig von der Natur der Elektrode und 4. abhängig von der des Elektrolyts, 5. sie ist fast unabhängig von dem in der Zersetzungszelle vorhandenen Druck, 6. dagegen wird sie geringer bei Erhöhung der Temperatur.

Von zahlreichen Physikern sind diese Sätze später bewahrheitet, teils auch schon etwas früher gefunden, nämlich der Satz 5. von de la Rive[4]) 1843, Satz 1. von Lenz[5]) 1843.

1) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. pag. 101.
2) Pogg. Annal. Bd. 61. 1844. pag. 593.
3) Annal. de Chim. et de Phys. Bd. 68. 1863. pag. 413.
4) Comptes. rend. Bd. 16. 1843.
5) Pogg. Annal. Bd. 59. 1843. pag. 203 und 407.

Besonders v. Beetz[1]) und Buff[2]) mögen von den Späteren genannt werden, ohne daß ich auf die Resultate ihrer Arbeiten näher eingehen könnte. Nur mag noch bemerkt werden, daß Vorsselmann de Heer[3]) die aus der Natur dieser Polarisation selbstverständliche Thatsache fand, daß Erschütterung der Zersetzungszelle oder der Elektroden die Polarisation vermindert.

238. Daß man wegen dieses in vorstehendem berührten elektromotorischen Verhaltens zwischen Metallen und Gasen auch dazu kam, darauf gegründete galvanische Elemente zu bauen, ist natürlich. Grove[4]) war der erste, welcher das that, indem er Platinplatten abwechselnd in Wasserstoff und Sauerstoff stellte, und so Ketten konstruierte, die oben erwähnten sogenannten Gasketten.

Schönbein[5]) hat diese untersucht und gemeint, die elektromotorische Kraft verdanke einer Bildung von Wasserstoffsuboxyd ihre Existenz, welche dem katalytischen Einfluß auf Wasser und Wasserstoff zuzuschreiben sei. Allein v. Beetz[6]) bemerkt hierzu ganz richtig, mit dem bloßen Namen „katalytische Wirkung" kommt man nicht weiter, wie mit dem Ausdruck Kontakt, und es ist schwer, sich hierbei eine rein chemische Wirkung vorzustellen. Die Untersuchung über die elektromotorische Kraft der verschiedensten Kombinationen ist von Buff und v. Beetz ausgeführt.[7])

239. Die andere Art der Polarisation nun, welche in einer chemischen Zersetzung der Oberflächenschicht der Elektroden besteht, hat in unseren Tagen zur Konstruktion von Polarisationsbatterien, sogenannten sekundären Elementen geführt.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 78. 1849. pag. 35; Bd. 79. 1850. pag. 98; Bd. 94. 1865; Bd. 156. 1875. Wiedem. Annal. Bd. 5. 1878. pag. 1; Bd. 10. 1880. pag. 348.

2) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 497 und Bd. 130. 1867.

3) Pogg. Annal. Bd. 49. pag. 109.

4) Phil. Mag. Bd. 21. 1842. pag. 136. siehe auch oben.

5) Pogg. Annal. Bd. 58. 1843. pag. 361.

6) Doves Repertorium Bd. 8. pag. 236.

7) Siehe außer den schon angegebenen Arbeiten noch Pogg. Annal. Bd. 77. 1849. pag. 493.

die zu vielen Untersuchungen und besonders bei technischen Zwecken Verwendung gefunden haben. Im Jahre 1860 hat Planté die erste derartige Säule konstruiert.[1])

Zwei etwa 60 cm lange 10 bis 20 cm breite und 1 mm dicke Bleiplatten werden nach Zwischenlegung einiger schmaler $^1/_2$ cm dicker Kautschukstreifen oder eines groben Leinwandlappens aufgewickelt zu einer Spirale, die durch passende Holzklemmen in dieser Lage erhalten wird. An beiden Platten läßt man einen langen Bleistreifen herausragen aus der Spirale, an diese Streifen werden durch Klemmschrauben die Poldrähte einer etwa aus zwei Bunsenschen Elementen bestehenden Kette befestigt. Beim Durchgange des Stromes wird, nachdem man die Spirale in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß gestellt hat, an der positiven Elektrode zunächst sich schwefelsaures Blei bilden, dann aber Bleisuperoxyd, welches die ganze Oberfläche der + Platte, diese braunfärbend, bedeckt. dadurch wird diese Platte stark elektronegativ gegen die reine Bleiplatte. Diese Schicht ist sehr dicht und verhindert daher bald die weitere Bildung des Bleisuperoxyds. Löst man nun die Verbindung mit dem primären Element, so liefert das sekundäre einen Strom in der entgegengesetzten Richtung, so lange noch Bleisuperoxyd auf der ehemals + Platte vorhanden ist, läßt man aber das ausgeschaltete sekundäre Element ruhig stehen, so bildet sich zwischen der Superoxydschicht und der Bleiplatte schwefelsaures Blei, wodurch das Superoxyd selbst vor der weiteren Umwandlung geschützt wird, sodaß ein solches Element lange stehen kann, ohne daß das gebildete Superoxyd vernichtet wird, schließt man darauf das Element, so wird jetzt durch den Wasserstoff das schwefelsaure Blei reduziert und es entsteht schwammiges Blei. Dies ist aber für die Bildung von Superoxyd sehr viel besser als das feste Blei, sodaß ein solches Plantésches Element erst nach mehrmaligem Gebrauch zum Maximum seiner Leistungsfähigkeit kommt. Diese ist aber sehr bedeutend, da die elektromotorische Kraft etwa 1,5 einer Bunsenschen Kette ist, sodaß dieselbe einen Platindraht von $^1/_2$ mm Dicke und 4 bis 5 cm Länge etwa 20 Minuten

1) Comptes rendues Bd. 50. 1860. pag. 640.

im Glühen erhalten kann. Das Element ist selbstverständlich nicht konstant, doch ist es eine zeitlang nahezu konstant und liefert einen schwachen Strom noch ziemlich lange.

Diese Elemente verbesserten verschiedene Techniker, besonders Faure,[1]) dessen Anordnung am bekanntesten und verbreitetsten ist. Das Element selbst ändert er insofern ab, als er die Bleiplatten durch Filzstreifen trennt und sie mit Mennige überzieht, dadurch wird die Bildung von Superoxyd und schwefelsaurem Blei erleichtert und die Masse beider vergrößert, sodaß er einen länger dauernden, konstanten Strom erhält. Um dann bequemer eine Reihe von Platten verbinden zu können, schneidet Faure sie quadratisch und läßt sie unaufgewickelt neben einander stehen; sie bleiben ungeschlossen lange Zeit unverändert, man kann also in ihnen eine große Menge elektromotorischer Kraft ansammeln, welche im gegebenen Momente zur Licht- oder Arbeitserzeugung verwendet werden kann. Man nennt daher diese Elemente „Accumulatoren". Mehrere von ihnen ihnen liefern zu einer Kette vereinigt starke Ströme oft stundenlang. Um diese Ketten gleichzeitig zu laden und gleichzeitig zur Stromerzeugung zu verwenden bringt man einen einfachen Kommutator an, welcher zunächst so gestellt wird, daß alle Platten a aller Elemente mit einem Zuleitungsdraht und alle Platten b mit dem zweiten Draht verbunden sind, sodaß bei Einschaltung einer primären Kette, alle Elemente gleichzeitig geladen werden, d. h. auf allen Platten a das Superoxyd gebildet wird. Will man die sekundäre Kette dann gebrauchen, so stellt man den Kommutator so, daß die Platte a des ersten Elementes mit der Platte b des zweiten etc. verbunden ist, man also eine Einschaltung hinter einander vornehmen kann. Die Untersuchung über die Wirkungsweise dieser Kette besonders in Bezug auf ihre Stärke, ist noch nicht abgeschlossen, wir übergehen daher die in dieser Richtung bereits vorliegenden Beobachtungen.

240. Hier mag noch eine auf der chemischen Wirkung des Stromes beruhende Entdeckung dieses Abschnittes eingefügt

1) Beiblätter zu den Annalen der Physik. V. pag. 532. 1881. und Compt. rend. Bd. 92. 1881. pag. 951—953.

werden, die freilich wissenschaftlich nicht viel neues gebracht hat, die aber technisch eine so bedeutende Rolle spielt, daß sie in einer Geschichte der Elektrizität, die überhaupt auf technische Fragen eingeht, nicht wohl übergangen werden kann. Es war die von Jacobi dem älteren[1]) 1839 gemachte und 1840 veröffentlichte Entdeckung der Galvanoplastik.

Schon im Jahre 1839 machte Jacobi eine Methode bekannt Kopien von eingravierten Bildern zu erhalten. Er machte den zu kopierenden Stich, oder die Münze zur negativen Elektrode in einer Zersetzungszelle, in welcher das Elektrolyt eine Kupfervitriollösung war. Beim Durchgange des Stromes schied sich auf der Oberfläche des Stiches metallisches Kupfer ab und bei gehöriger Dauer des Versuches in solcher Dicke, daß es eine zusammenhängende Platte bildete, die mit einiger Vorsicht abgelöst werden konnte.

Besonders fand dies Anwendung für Kupferstiche durch Böttger[2]) in Frankfurt a. M., welcher den Stich in eine Zelle mit Kupfervitriollösung brachte, nachdem er ihn sorgfältig mit Olivenöl eingerieben und wieder abgeputzt hatte. Von dieser Zelle war durch eine tierische Membran getrennt eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte, in welche eine amalgamierte Zinkplatte tauchte, d. h. er stellte eine Art Daniellsches Element her. Verband er nun die beiden Platten, so entstand die Zersetzung und die Niederschlagung auf dem Stiche. Nach 14 Tagen hatte er eine Kupferschicht von etwa einer Linie Dicke, welche eine feste Platte bildete, die ohne große Mühe von der ursprünglichen abgetrennt werden konnte, ohne daß beide irgendwie verletzt wurden. Es war diese Platte aber erhaben graviert, es mußte daher derselbe Prozeß mit dieser Platte vorgenommen werden wie mit der ursprünglichen, um eine tief gravierte zu erhalten. Diese zweite Platte war dann der ursprünglichen genau gleich, sodaß sie ebenso gute Abzüge lieferte, wie das Original. Eine andere Methode bestand darin, daß man einen aus einer weichen Masse bestehenden Abdruck des Originals mit einer leitenden Farbe (Eisen-

1) Phil. Mag. Bd. 15. 1839. pag. 161 und „die Galvanoplastik“ 1840.
2) Pogg. Annalen, Bd. 54. 1841. pag. 300.

rot, Mineralschwarz etc.) bestreicht und diesen zur negativen Elektrode macht, man erhält dann völlige Hautreliefs, die oft von großer Schönheit sind. Heutzutage macht die Technik den weitesten Gebrauch sowohl hiervon, wie von der galvanischen Plattierung, die sich aus dem Mitgeteilten von selbst ergiebt, und bei der die Methode die beste ist, welche den feinsten Überzug liefert.

Sechstes Kapitel.

Die Theorien des galvanischen Stromes.

241. An diese chemischen Wirkungen schließt sich am besten die Fortführung des Streites über die Ursachen des galvanischen Stromes an, welcher auch in diesem Zeitabschnitt mit ziemlicher Erbitterung geführt ist, bis er am Schluß der Epoche in Feststellung der Grundlagen der heute ziemlich allgemein angenommenen Theorie endigte. Ich habe schon berichtet, daß Fechner und Ohm Anhänger der Kontakttheorie waren, wenn auch nicht in dem absoluten Sinne Voltas. Sie hatten hauptsächlich mit de la Rive und Faraday zu kämpfen und fanden in Pfaff dem ältesten Verteidiger Voltas und Poggendorff Unterstützung, bis endlich Schönbein, die Gegensätze ausgleichend, eine, wenn ich so sagen soll, chemische Kontakttheorie schuf, die unter Zuziehung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft die Grundlage der heutigen Ansicht giebt. In diesen kurzen Sätzen möchte ich eine Skizze der Entwicklung geben. Wir werden uns also mit diesem Namen in der Folge zu beschäftigen haben.

Die Kontakttheorie wie sie von Ohm und besonders Fechner in seinem Lehrbuche vertreten wurde, bestand darin, daß er annahm, bei der Berührung zweier Metalle vereinigen sich ein Teil + Elektrizität von dem einen Element mit einem gleich großen − Teil des anderen Elementes, sodaß in dem ersteren negative Elektrizität frei bleibt, in letzterem positive. Analog soll nun auch der Vorgang beim Kontakt von Metallen und Flüssigkeiten sein, dadurch erklärt sich, wie eine chemische Wirkung entsteht bei diesem Kontakt, sobald man annimmt, daß die die Moleküle bildenden Atome der Flüssigkeit Träger einer bestimmten

Elektrizität sind. Die Ursache des Stromes ist hier also die in der Spannungsreihe dargelegte elektrische Ungleichheit der Körper, die chemischen Erscheinungen sind durch sie bedingt.

242. Das Gegenteil hiervon findet sich in der de la Riveschen[1]) Ansicht. Da ist das primäre die chemische Wirkung. De la Rive spricht es geradezu aus, daß bei jeder Verbindung von Atomen ein elektrischer Strom eintrete. Die Ursache der Verbindung zweier Atome nennt man die chemische Affinitätskraft, diese ist also die Ursache des Stromes. Sowohl bei der Verbindung und bei der Trennung von Atomen hat man also einen elektrischen Strom, dessen Intensität proportinal ist der Größe der Affinität. Ohne chemische Veränderung ist also ein Entstehen eines Stromes ganz unmöglich, d. h. die Voltaschen Fundamentalversuche sind bis dahin nicht erklärt worden, sie sind nur möglich durch Bildung einer Oxydschicht auf der Oberfläche, zu deren Entstehung de la Rive die Berührung mit der Luft zu Hilfe nimmt. Analog soll die trockene Säule faktisch nicht existieren, sondern eine chemische Veränderung der sich berührenden Metalle soll die Ursache sein. Wie de la Rive die Säule mit Schellack erklären will sagt er nicht. Je stärker die chemische Wirkung desto größer die elektrische Erregung, und zwar wenn zwei verschiedene Metalle in einer Flüssigkeit sich befinden, ist das positiv, an welchem die stärkere Zersetzung stattfindet[2]), sind zwei gleichartige Metallplatten vorhanden, von verschiedener Oberfläche, so ist die positiv, welche die größere Oberfläche hat; sind zwei Flüssigkeiten vorhanden, so ist die saure positiv, die alkalische negativ. Um viele Abweichungen zu erklären, griff de la Rive zur Annahme eines Rückstromes, d. h. einer Wiedervereinigung der eben geschiedenen Elektrizitäten direkt durch die Scheidungsstelle zurück.

Dieser Theorie wandte sich auch Faraday zu[3]) der seinem ganzen Bildungsgange gemäß mehr auf die chemischen Vorgänge Acht hatte. Faraday stellt ganz allgemein den Satz

---

1) Recherches sur la cause de l'elect. voltaique. 1836.

2) Pogg. Annal. Bd. 15. 1829. pag. 104.

3) Faradays Theorie findet sich über fast alle Folgen seiner Experim. resear. verteilt, besonders Ser. IX, XII, XVI, XVII.

auf, „wo keine chemische Aktion, da ist auch kein Strom". Ja er fügt hinzu, daß er ängstlich nach Ausnahmen von dieser Regel gesucht habe, allein es sei ihm nicht möglich gewesen, solche zu finden, und doch giebt er etwas früher selbst an, daß in der Kette: Eisen, Platin in Ätzkalilauge, obgleich eine chemische Aktion nicht stattfinde, doch ein wenn auch sehr schwacher Strom entstehe. Die Ursache, weswegen Faraday glaubte, daß seine Versuche über dies Verschwinden eines Stromes bei Vermeidung chemischer Aktion gegen die Kontakttheorien entscheidend seien, lag in einer unvollständigen Kenntnis der Kontakttheorie seinerseits. Er glaubte nämlich, daß die Spannungsdifferenzen nicht nur für direkten Kontakt gültig seien, sondern auch für jeden mittelbaren Kontakt vermittels Flüssigkeiten. Er scheint also die Arbeiten Ohms und Fechners gar nicht gekannt zu haben. Diese hatten schon ehe Faraday mit seiner Ansicht hervortrat nachgewiesen, daß die Metalle in Flüssigkeiten ein ganz anderes Spannungsverhältnis haben, wie bei direktem Kontakt, und Fechner hatte konstatiert, daß auch der Kontakt von Flüssigkeiten unter sich eine elektromotorische Kraft repräsentiere.

Einen anderen Beweis gegen die Kontakttheorie glaubte Faraday in dem sogenannten Schließungsfunken einer Kette gefunden zu haben. Er leitete den einen Poldraht einer Zink-Kupfersäule in ein Quecksilbernäpfchen und führte den andern Draht mit der Hand in das Queksilber, da entstand seiner Meinung nach ein Funken vor dem Kontakt, ehe der Strom also geschlossen war, also auch vor der elektrischen Wirkung, und sagt, dieser Versuch beweise die Erzeugung eines elektrischen Funkens durch rein chemische Kräfte.[1]) Pfaff bemerkt mit Recht dazu, daß es ihm nicht möglich sei einzusehen, inwiefern dieser Funken durch rein chemische Kräfte erzeugt sei und noch weniger, wie er ein Beweis gegen die Kontakttheorie sein könne, vielmehr sei nach der Kontakttheorie dieser Funken viel eher erklärbar.[2])

Um die Thatsächlichkeit dieses Faradayschen Funkens

1) Exp. resear. § 957.
2) Revision der Lehre vom Galvano-Voltaismus. 1837. Altona.

zu prüfen stellte Jacobi[1]) Versuche an, und konstatierte, daß der Funke nicht entstehe, wenn die Distanz des Drahtes von dem Queksilber noch 0,00005 englische Zoll betrage, es ist demnach gar wahrscheinlich, daß der Funken erst im Moment der Schließung entsteht und dann auf dieselbe Weise gebildet wird wie der früher erklärte Öffnungsfunke.

243. Gegen die Versuche über die Unwirksamkeit bestimmter Ketten machten neben Pfaff in seiner Revision besonders Fechner[2]) und Poggendorff[3]) Front. Sie hatten insofern einen leichten Stand, indem sie teilweise Experimente der Gegner selbst benutzen konnten, um zu zeigen, daß es mit der vorgängigen chemischen Thätigkeit nichts sei, besonders Fechner lieferte eine unbarmherzige Kritik der de la Riveschen Versuche, indem er die Experimente, worauf jener sich stützen wollte, als falsch nachwies und besonders die Unhaltbarkeit der oben gegebenen Behauptungen des Genfer Professors darthat. Fechner wies darauf hin, daß in den meisten Fällen, wo de la Rive keinen Strom bemerkt haben wollte, dieser vielmehr zu Anfang der Schließung wohl zu beobachten sei, hingegen bald verschwinde wegen der Polarisation. Poggendorff zeigte, daß die Größe der chemischen Aktion durchaus nicht die Stärke des Stromes bedinge, indem er Elemente mit amalgamiertem Zink und rohem Zink einander gegenüberstellte. Das amalgamierte Zink wird nicht oder doch nur wenig angegriffen, während das rohe Zink in verdünnter Schwefelsäure unter lebhafter Gasentwicklung oxydiert wird, und dennoch ist die elektromotorische Kraft des ersten Elements bedeutend stärker, wie die des zweiten. Analog ergab sich ihm bei Vergleichung der Platin-Platinkette in Kalilauge und der Platin-Eisenkette mit derselben Flüssigkeit, obwohl, weder das Eisen noch das Platin eine chemische Zersetzung erfuhren, daß die letztere einen erheblich stärkeren Strom liefere, als die erstere. Es waren somit de la Rives und Faradays Ansichten absolut unhaltbar.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 44. 1838. pag. 633.
2) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 481.
3) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 353.

Auch Pfaff[1]) hatte gegen die Faradaysche Meinung ein entscheidendes Experiment ins Feld geführt. Er wies nämlich nach, daß ein Zink-Platinelement nach Grove bedeutend wirksamer sei, wenn man die Schwefelsäure Groves durch Zinkvitriollösung ersetze, während doch die chemische Aktion in der letzteren Kette sehr viel geringer sei, wie in der Groveschen mit Schwefelsäure.

Während de la Rive seine Ansicht später änderte und sich der nachher zu besprechenden Schönbeinschen Theorie anschloß, scheint Faraday sich nicht haben trennen zu können von seinen Anschauungen, wenngleich sie uns in seiner XVI. Serie der Exper. res. etwas abgeändert vorkommen. Er sagt da: Nach der Kontakttheorie werde angenommen, daß, wo zwei ungleichartige Körper sich berühren, die ungleichen Teile elektrisch aufeinander wirken und entgegengesetzte Zustände erregen. Er leugne das nicht, glaube aber, daß eine solche Wirkung in vielen Fällen zwischen aneinanderliegenden Molekülen stattfinden könne und daß dann, wenn diese Wirkung eintrete, stets eine Zerlegung, eine chemische Aktion die Folge sei, und erst durch diese der Strom erzeugt werde. Diese chemische Theorie habe den Vorzug von längst bekannten Kräften, den Affinitätskräften, auszugehen und selten etwas vorauszusetzen, was nicht durch eine entsprechende chemische Thatsache gestützt werde.

Wäre dieser letzte Satz in der That richtig, wir könnten wohl keine einfachere Theorie wünschen, allein eben durch die Versuche, die eben angeführt sind, ist der Satz als in vielen Fällen unrichtig nachgewiesen.

244. Eine andere chemische Theorie führte um dieselbe Zeit Gmelin[2]) vor, die freilich wenig Anhänger gefunden hat, und finden wird, die aber doch unser Interesse in Anspruch nehmen muß, da sie ziemlich durchgeführt und auf die verschiedensten Experimente ausgedehnt ist. Die Grundvoraussetzungen dieser Theorie sind folgende: Es giebt zwei elektrische Fluida mit Affinität aufeinander, die ponderabelen

1) Pogg. Annal. Bd. 53. 1841. pag. 306.

2) Pogg. Annal. Bd. 44. 1838. pag. 1; vergl. Pfaff Revision. 1837. pag. 66.

Körper haben aufeinander Affinität und zu der Elektrizität, und zwar hat jeder eine große Menge positive oder negative Elektrizität in sich aufgespeichert, die Anionen haben positive Elektrizität, die Kationen negative. Vereinigt sich ein Anion und ein Kation, so thun es auch die an ihnen haftenden Elektrizitäten zu Wärme.

Wenn nun eine Zinkplatte in angesäuertes Wasser getaucht wird, so findet hier ein rein chemischer Vorgang statt. Die Sauerstoffatome des Wassers werden von den Zinkatomen angezogen, wegen der Affinität, es verbindet sich so ein Zinkatom mit dem zunächstliegenden Sauerstoffatom zu Zinkoxyd, dadurch wird das Zink elektronegativ geladen. Der größte Teil dieser Ladung geht aber vom Zink zum Wasserstoff über, um sich mit dessen positiver Elektrizität zu verbinden, nur ein weniges bleibt übrig am Zink. Auf dieselbe Weise, nur in geringerem Grade, ist die rein chemische Wirkung einer Kupferplatte auf Wasser aufzufassen. Werden nun aber zwei Platten, eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, in dasselbe Wasser getaucht, so wird die größere Menge — Elektrizität zum weniger negativen Kupfer geleitet, dadurch überwiegt jetzt die Affinität der — Elektrizität auf der Kupferplatte zur + Elektrizität des Wasserstoffes und es erfolgt nun das Entgegengesetzte von der Wirkung der unverbundenen Kupferplatte, nämlich jetzt kehren sich die Wasserstoffteilchen des Wassers der Kupferplatte zu, und es beginnt die galvanische Zersetzung.

Die schwächsten Punkte an dieser Theorie sind die Annahme des Residuums von negativer Elektrizität auf dem Zink, es ist schwer einzusehen, wie nur ein Teil der — Elektrizität zum Wasserstoff übergehen und ein Teil auf dem Zink zurückbleiben soll, selbst wenn man sagt, der Sauerstoff hindere diesen Übergang, und der andere ist, der nach der Theorie sich ergebende ebenfalls negative Überschuß von Elektrizität an der Kupferplatte bei geöffneter Kette, es müßte danach am Zink und am Kupfer elektroskopisch — Elektrizität nachweisbar sein, und das zwischenliegende Wasser müßte positiv sein. Alle übrigen Folgerungen ergeben sich verhältnismäßig einfach.

Noch weniger Vertrauen konnte die Theorie Karstens[1]) erwecken, welche eine Vermittlung zwischen Kontakt- und chemischer Theorie sein soll. Es existiert danach eine elektromotorische Kraft beim Kontakt der Metalle, dieselbe ist aber sehr gering im Verhältnis zu der beim Kontakt eines Metalls mit einem Elektrolyten. Alle Metalle werden beim Kontakt mit gewöhnlicher Flüssigkeit elektropositiv, aber in verschiedenem Grade, die Metalle sollen dann ferner fähig sein, die negative Elektrizität der Flüssigkeit abzuleiten an ihr oberes Ende. Das stärker elektropositiv gewordene Metall zieht dann die negative Elektrizität der Flüssigkeit stärker an, und da die positive doch auch irgendwo bleiben muß, begiebt diese sich zum weniger stark positiv gewordenen Metall! Die logischen und experimentellen Unmöglichkeiten dieser Theorie zeigt Pfaff in vorzüglicher Weise, sie hat daher gar keinen Boden gefunden.

Einer ebenso scharfen Kritik unterzieht Pfaff die Becquerelsche Theorie[2]). Nach Becquerel haben alle Elemente gleichviel + und − Elektrizität inhärent; findet jetzt eine chemische Wirkung zwischen den Elementen statt, d. h. eine Verbindung, so entwickelt sich ein elektromotorischer Prozeß. Die positive Elektrizität geht zur Säure, die negative zum Alkali. Bei einer Trennung oder Zersetzung findet das Gegenteil statt, so ist auch hier die chemische Aktion die Quelle der Elektrizität und bei ihrer Fortsetzung die Ursache des Stromes, der nur dann nicht eintritt, wenn einer der beiden Körper, die chemisch wirken, ein Nichtleiter ist. Die Voraussetzungen sind ganz willkürlich, und der weitere Aufbau leidet an Widersprüchen.

245. Da auf diese Weise die chemische Theorie fortwährend auf unüberwindbare Schwierigkeiten stieß, die Kontakttheorie aber das gegen sich hatte, daß sie eine neue und dazu wesentlich von allen bisherigen Kräften verschiedene Kraft

---

1) Über die Kontaktelektrizität, Berlin 1836. Dies Original habe ich nicht zur Hand, ich benutze die Darstellungen in Pfaffs Revision etc. 1837. pag. 139—160

2) Traité de l'Electricité et du Magnétisme, III. pag. 406 ff.

einführte, die nur durch die Berührung heterogener Substanzen entstehen sollte, kann es nicht Wunder nehmen, wenn man bei vielen Forschern fortdauernd das Suchen nach einer anderen Theorie sieht. Während die einen mit Verbissenheit die chemische Theorie zu halten suchen, die andern mit demselben Eifer die krasse Kontakttheorie als Dogma verteidigen, hat sich bei Schönbein, dem Entdecker des Ozons, allmählich eine zwischen beiden liegende herausgebildet. Von seinen ersten Ansichten gab er selbst wieder manches preis, wie er sagt, weil es ihm nur um die Wahrheit, nicht um die Eitelkeit zu thun war, wir schließen uns daher wesentlich seiner letzten Darstellung seiner Theorie an.[1])

Zunächst erkannte Schönbein an, daß die Chemiker Unrecht haben, eine chemische Thätigkeit vor dem galvanischen Strom anzunehmen, da es zweifellos eine ganze Reihe von Ketten gebe, die diese Aktion nicht hätten, aber es sei die Ursache der elektrischen Erscheinungen auch nicht in einem bloßen Kontakt zu suchen, sondern in einer beim Kontakt sich vollziehenden chemischen Anziehung, (ohne daß eine Zersetzung damit verbunden wäre).

Taucht man also ein Zinkstück in Wasser, so, sagt Schönbein, ist Zink „sauerstoffgierig“, es zieht also den Sauerstoff an, aber dadurch wird nicht etwa eine Zersetzung des Wassers ohne weiteres bedingt, sondern nur eine Richtung der Wassermoleküle, so daß zunächst die benachbarten Wassermoleküle sich so lagern, daß sie das Sauerstoffende dem Zink zuwenden. Mit der Störung dieses chemischen Gleichgewichtes geht nun Hand in Hand eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes, indem der Sauerstoff — elektrisch, der Wasserstoff + elektrisch wird. Schönbein nimmt also nicht eine an und für sich bestehende elektrische Polarität eines Wasserteilchens an, sondern er läßt dieselbe erst durch die chemische Anziehung entstehen. Das erste Wassermolekül wirkt nun polarisierend auf das zweite und so fort, so daß sich eine allgemeine pola-

1) Die Entwicklung der Schönbeinschen Theorie findet sich in folgenden Abhandlungen von ihm: Pogg. Ann. Bd. 39. 1836. pag. 351; Pogg. Ann. Bd. 43. 1838. pag. 229; Bd. 44. pag. 59; Bd. 57. 1842. pag. 39; Bd. 78. 1849. pag. 289.

rische Anordnung der Flüssigkeitsmoleküle vollzieht; stellt man nun eine zweite Platte von anderem Material hinein, die entweder direkt wasserstoffgierig ist oder doch in geringerem Grade auf den Sauerstoff anziehend wirkt, so bleibt im letzteren Falle die Anordnung dieselbe, im ersteren wird sie noch ausgeprägter wegen der Gleichartigkeit der Wirkung. Es braucht auch jetzt noch keine chemische Zersetzung vor sich zu gehen. Die zweite Platte mag Kupfer sein, so liegt also an dieser der Wasserstoff der zunächt liegenden Wassermoleküle; da dieser + elektrisch ist, wirkt er auf die Kupferplatte so, daß diese auf der zugewandten Seite — elektrisch wird, und die in ihr befindliche + Elektrizität sich an das herausragende Ende begiebt. Wird nun eine metallische Verbindung zwischen der Zink- und Kupferplatte hergestellt, so fließt die + Elektrizität von dem Kupfer zum Zink, die Thätigkeit an der Berührungsstelle der Platten mit der Flüssigkeit muß aber fortbestehen, daher entsteht nun die Zersetzung der Flüssigkeit und die fortwährende Regeneration des Stromes. Bis zur metallischen Schließung ist also alles im stationären Zustande. Schönbein zeigt dann, wie seine Theorie die beobachteten Erscheinungen sowohl der Spannungselektrizität, wie auch der strömenden genügend erkläre.

Die Schwierigkeiten, welche die Schönbeinsche Theorie findet, findet auch die Kontakttheorie, sowie jede andere z. B. die Beantwortung der Frage, warum gleichen sich die entstehenden elektrischen Scheidungen nicht wegen der Leitungsfähigkeit der Moleküle, an welchen sie entstehen, sofort wieder aus, warum ist mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser leichter im Schönbeinschen Sinne polarisierbar, wie Wasser etc. Die letzten Gründe für diese Fragen und Verhältnisse sind uns noch gerade so verborgen, wie sie es Schönbein waren. Ob sie es ewig bleiben werden?

Dieselben Kräfte, welche Schönbein bei der Berührung der Metalle und Flüssigkeiten wirken läßt, wendet er auch beim Kontakt von Metallen an, es ist demnach auch ohne Flüssigkeit die Erzeugung von Spannungselektrizität möglich, z. B. beim Voltaschen Fundamentalversuch, beim Reiben, Schlagen, Drücken etc. von Körpern.

Der wesentliche Vorzug der Schönbeinschen Theorie liegt besonders darin, daß er die Kontaktkraft als solche, die ganz undefinierbar ist, vermeidet, und den innigen Zusammenhang zwischen Stromstärke und chemischer Zersetzung aufklärt ohne in das Extrem der chemischen Theorien zu verfallen, sodaß nach der Schönbeinschen Theorie die Richtung des entstehenden Stromes sicher vorhergesagt werden kann, sowie auch Anhaltspunkte für die Stärke desselben in ihr zu finden sind. In der That ist denn auch die Schönbeinsche Theorie die Grundlage für unsere heutige Anschauung, und durch eine gleichzeige Entdeckung ist schließlich der Standpunkt geboten, durch welchen der ganze Vorgang auf Grund dieser Schönbeinschen Anschauung klar gestellt werden kann.

Siebentes Kapitel.

Wärme und galvanischer Strom.

246. Dasjenige was auch in die Theorie der Elektrizitätserregung einen neuen Funken brachte, war die Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft durch Robert Mayer 1842. Freilich wurde dies nicht gleich nutzbar gemacht; Schönbein selbst wendet dasselbe noch gar nicht an, wie wir überhaupt sagen müssen, daß die allgemeine Bedeutung dieses Gesetzes erst viel später allgemein erkannt ist, und auf diesen Teil der Elektrizitätslehre erst von Wiedemann angewendet wurde.[1]) Am kürzesten giebt die aus diesem Gesetz hergeleitete Anschauung wohl v. Beetz[2]) an, dessen Worte hier folgen mögen: „So verschiedenartig auch immer die Molekularvorgänge, welche bei einem solchen Kontakt (heterogener Körper) eingeleitet werden, gedacht werden mochten, so war doch die Ansicht ganz allgemein aufgenommen, daß einer jeden Stromesarbeit ein bestimmt begrenzter chemischer Vorgang entsprechen müsse, und daß die bei diesem Vorgange auftretenden Verbindungswärmen als Maß der

---

1) Wiedemanns Theorie vom Jahre 1870 siehe: Lehre von der Elektrizität I. 1882. pag. 251 ff. II. 1883. pag. 999 ff.

2) Wiedem. Ann. Bd. 10. 1880. pag. 348.

vorhandenen elektromotorischen Kräfte dienen können, insofern diese Wärme gleich ist dem Produkte aus Stromstärke und elektromotorischer Kraft."

Es ist also allgemein, die in einem Stromkreise durch die Zersetzung eines Äquivalents des Elektrolyten erzeugte Wärmemenge äquivalent der in demselben wirksamen elektromotorischen Kraft, oder mit Thomsons Worten: die elektromotorische Kraft ist gleich dem mechanischen Äquivalent der bei der Einheit der Stromintensität in der Zeiteinheit in dem Schließungskreise, oder auch der durch die chemischen Prozesse in der Kette, erzeugten Wärme.[1]) Diese Resultate sind durch zahlreiche Versuche bestätigt, die aber naturgemäß in die neueste Zeit fallen und daher von mir nicht ausgeführt werden können. Für die genauen Angaben muß ich auf Wiedemanns Lehre von der Elektrizität verweisen.

247. Diese ganze Auffassung steht in engem Zusammenhang mit der Wärmewirkung des Stromes überhaupt und grade darin haben wir in unserm Zeitabschnitt wichtige Versuche und Resultate zu verzeichnen.

Wir hatten bei Davy gesehen, daß er die Wärmewirkung auf einen Draht benutzte, um die Leitungsfähigkeit desselben zu bestimmen. Es war seit den Untersuchungen bereits ausgemacht, daß bei jedem galvanischen Strome eine Wärmewirkung eintrete. Ohm und Fechner hatten gemeint, daß diese entstehende Wärme direkt proportional sei der Stärke des Stromes; ein falscher Schluß, den auch Vorsselmann de Heer aufrecht erhalten wollte. Es war daher ein großes Verdienst Joules,[2]) daß er die Erwärmung experimentell bebestimmte.

Ein mit einem Leitungsdraht umwundenes Thermometer tauchte er in Wasser, ging durch den Draht ein an einer Tangentenbussole gemessener Strom, so entstand Erwärmung des Drahtes, dieser gab die Wärme sofort an das umgebende Wasser ab und dessen Temperaturzunahme zeigte das Ther-

1) Wiedemann, Lehre v. d. Elektrizität II. 1883. pag. 864. Die Belege auf den folgenden Seiten bis pag. 919.

2) Phil. Mag. 19. 1841. pag. 260. (Doves Repertorium 8. pag. 309 u. 317.)

mometer an. Um den Verlust an Wärme durch Strahlung und Mitteilung zu vermeiden, umgab er das Wassergefäß mit einem zweiten Blechgefäß, allein diese Methode bleibt stets voller Mängel und es ist Joules großes Geschick zu bewundern, daß er aus so unvollkommenen Versuchen so genaue und treffende Schlüsse ziehen konnte; er untersuchte auf diese Weise Eisen- und Kupferdrähte und fand zunächst, daß die entstehende Wärme dem Leitungs-Widerstande der angewandten Drähte direkt proportional war.

Theoretische Überlegungen, welche Joule im weiteren Verfolg zu den bekannten Versuchen über Äquivalens von Wärme und Arbeit führten, die Mayers Gesetz von der Erhaltung der Kraft bewahrheiteten, machten es Joule von vornherein wahrscheinlich, daß die Wärmemenge ebenfalls proportional sei dem Quadrat der Intensität des Stromes. Diese Vermutung bestätigte er durch Versuche über die Erwärmung eines in eine Glasröhre eingeschlossenen Quecksilberfadens durch Ströme von verschiedener Intensität. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, daß die in der Zeit t durch einen Strom von der Intensität J in einem Drahte vom Widerstand w erzeugte Wärmemenge W ist.

$$W = c \, . \, J^2 \, . \, w \, . \, t,$$

wo c eine von der Natur des Drahtes abhängige konstante Zahl ist.

Da die Versuche von Joule in Bezug auf ihre Zuverlässigkeit leicht Bedenken erregen konnten, unternahm Becquerel der jüngere[1]) eine genauere Untersuchung, indem er zunächst die Abgabe der Wärme von dem erwärmten Wassergefäß an die umgebende Luft durch Beobachtung der Abkühlungszeit, nach Aufhören des Stromes feststellte und bei der späteren Berechnung berücksichtigte, seine beobachteten Werte und berechneten stimmen so gut überein, daß seine Versuche eine gute Bestätigung des Jouleschen Gesetzes genannt werden können.

248. Noch genauer und ausgedehnter sind die Versuche, welche ein Jahr später Lenz[2]) über das Joulesche Gesetz

---

1) Annales de Chim. et de Phys. S. III. Bd. IX. 1843. pag. 21.

2) Pogg. Annal. Bd. 61. 1844. pag. 18.

bekannt machte. Er füllte sein Kalorimeter mit Alkohol, um jede, etwa im Wasser noch mögliche, direkte Schließung des Stromes außerhalb der Spirale zu vermeiden, dann sorgte er für eine beständige Bewegung des Apparates, damit der Weingeist in allen Teilen bald eine gleichmäßige Temperatur annehme und besonders das Thermometer die Temperaturerhöhung gleich anzeige. Nun erniedrigte er die Temperatur des Gefäßes um eine bestimmte Anzahl Grade unter die Lufttemperatur, etwa um 6° C., nun ließ er den Strom durch die Spirale gehen und beobachtete die Zeitpunkte bis zur Temperaturerhöhung um 3°, 6°, 9°, 12°, d. h. bis zur Temperaturerhöhung um ebensoviel Grad über der Lufttemperatur als die Anfangstemperatur darunter gewesen war. Auf diese Weise vermied er den Einfluß der Wärmeabgabe an die Luft, indem er sagt, während der ersten 6° Erhöhung empfängt das Kalorimeter von der umgebenden Luft gerade soviel Wärme, wie es nachher abgiebt. Nun sind die Temperaturerhöhungen bei gleicher Menge Alkohol proportional den erzeugten Wärmemengen, folglich müssen bei gleichen Temperaturerhöhungen für die verschiedenen Drähte die Produkte $t . J^2 . w =$ const. sein. Diese Formel bestätigt Lenz durch Versuche mit Neusilberdraht, Platin-, Eisen- und Kupferdraht, indem er durch einen mit eingeschalteten veränderlichen Widerstand dafür sorgt, daß die Stromstärke während eines Versuches stets dieselbe bleibt.

249. Die Resultate von Lenz lassen nun aber eine Betrachtung nicht ausgeschlossen erscheinen, daß nämlich für größere Stromstärken die Konstanz nicht ganz gewahrt bleibe, allein diese Inkonstanz hängt ab von der bei höherer Temperatur eintretenden Vergrößerung des Leitungswiderstandes der Drähte, die von Davy schon entdeckt wurde.

Auch Poggendorff[1]) stellte über das Joule'sche Gesetz Versuche an vier Jahre nach Lenz und konstatiert dabei, daß die erzeugte Wärmemenge unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft.

Eine andere wichtige Beziehung zwischen Wärme und Elektrizität ist die aus den Versuchen über die Leitungsfähig-

1) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 337.

keit für Wärme von Wiedemann und Franz[1]) sich ergebende. daß nämlich die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme und für Elektrizität sich entspricht, indem man, für die Leitungsfähigkeit des Silbers für Wärme und Elektrizität 100 gesetzt, für die übrigen Metalle ganz analoge Zahlen erhält, z. B. Kupfer für Wärme 74, für Elektrizität 73; Eisen für Wärme 12, für Elektrizität 13 etc.

Die analogen Untersuchungen über die Erwärmung eines flüssigen Leiters beim Durchgange des galvanischen Stromes sind von Joule durchgeführt.[2]) Störend wirkt hierbei die Zersetzung des Elektrolyten, weil bei Gasentwickelung immer eine Menge Wärme verbraucht wird. Diesen Verlust wollte Joule vermeiden durch Anwendung von Kupfervitriollösungen zwischen Kupferelektroden, da sich an der + Elektrode ebensoviel Kupfer auflöst, als sich an der negativen niederschlägt, also Gewinn und Verlust wieder ausgeglichen werden. Er fand nun ebenfalls die erzeugte Wärmemenge proportional dem Quadrat der Intensität und dem Widerstande der Flüssigkeit. Analoge Resultate erhielten Becquerel und Poggendorff in den oben angeführten Arbeiten. Von letzterem ist noch zu bemerken, daß es für einen Draht innerhalb einer Kette ein Maximum der Erwärmung giebt. Denn wenn $W = c . J^2 . w$ ist und doch nach dem Ohmschen Gesetz $J = \frac{E}{w + a}$, wo unter a zu verstehen ist der Widerstand der übrigen Kette, so ist $W = c . \frac{E^2 . w}{(w + a)^2}$, dieser Ausdruck ist ein Maximum für $w = a$, also $W = c . \frac{E^2}{4 . w}$.

Die alte Methode Davys, durch das Glühen von Drähten den Widerstand derselben zu messen, läßt sich nach Auffindung des Ohmschen Gesetzes selbstverständlich auch anwenden, die Intensität eines Stromes zu messen. Der Erste, welcher diese Methode anwandte, war de la Rive[3]), er benutzte dazu ein Breguetsches Metallthermometer, ohne daß die Versuche gut gelungen wären. Als geeignet zu diesem Zweck zieht Poggen-

1) Pogg. Annal. Bd. 89. 1853. pag. 530.
2) Phil. Mag. Bd. 19. 1841. pag. 274.
3) Pogg. Annal. Bd. 40. 1837. pag. 355.

dorff[1]) ein Luftthermometer nach Art des von Rieß für den Entladungsschlag der Batterie gebrauchten vor. Später ist diese Meßmethode angewandt von Hankel 1848, welcher die durch die Erwärmung bedingte Ausdehnung der Drähte benutzte. Die Gesetze des Glühens selbst sind von Müller 1849 und später 1868 und 1873 untersucht, auf vorzügliche Weise durch eine Experimentaluntersuchung auch durch Zöllner 1859[2]), welcher indirekt eine Bestätigung des Jouleschen Gesetzes lieferte.

Mit dieser Erwärmung und dem Glühen der Drähte geht nun wohl auch eine molekulare Veränderung vor sich, die sich durch Änderungen der Elastizität, der Härte, der Länge etc. kundgiebt, und welche zum Teil von Wertheim 1845 beobachtet sind, doch ist hierüber die Untersuchung noch nicht als abgeschlossen zu betrachten.

Auf das Verhältnis zwischen Strom und Erwärmung war selbstredend die Auffindung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft von größtem Einfluß, wie ich schon bei Joule erwähnte. Eine hierher gehörige Beobachtung Poggendorffs kann als die erste Bestätigung für diesen Zusammenhang angesehen werden. Er beobachtete, daß bei gleicher Intensität die erzeugte Wärmemenge proportional ist der elektromotorischen Kraft, oder proportional der in den von ihm angewandten Elementen verbrauchten Zinkmenge. Von Helmholtz wurde dieser Satz verallgemeinert, indem er sagt, die gesamte Wärmemenge, welche durch den Strom erzeugt wird, muß gleich sein der durch die chemischen Zersetzungen frei werdenden Wärme, sodaß dieselbe Wärme eigentlich nur an anderer Stelle zur Geltung kommt, und dem entspricht die zweite Folgerung, daß die elektromotorische Kraft eines Elementes proportional der im Element durch die chemische Aktion entwickelten Wärmemenge ist. Später sind diese Forderungen bestätigt. Die ausführlichste Durchführung dieses Gesetzes in Bezug auf die Wärmewirkung des Stromes oder, was dasselbe sagt, die

1) Pogg. Annal. Bd. 52. 1841. pag. 324. Dove, Repertorium Bd. 8. pag. 311.

2) Pogg. Annal. Bd. 109. 1860. pag. 256.

Arbeitsleistung des Stromes ist von Clausius[1]) geliefert, während die experimentellen Bestätigungen von Quintus-Icilius[2]) ausgeführt wurden. Aus elektrischen Prinzipien hat W. Weber[3]) die Stromarbeit berechnet, davon später.

250. Während bisher immer von der Wärmeentwickelung im Stromkreise die Rede war, ist auch von der Wärmeentwickelung beim Kontakt zweier Körper zu handeln. Schon bei Seebecks Entdeckung des Thermostroms tritt die Frage auf, ob nicht auch umgekehrt beim Durchgange eines Stromes durch eine Kontaktstelle hier Temperaturunterschiede hervorgerufen werden, wie damals durch Temperaturunterschiede ein Strom entstand. Diese Forderung als richtig nachgewiesen zu haben, ist das Verdienst Peltiers.[4]) Er beobachtete 1834 beim Durchleiten eines Stromes durch einen Stab aus Wismut und Antimon zusammengelötet an der Berührungsstelle eine bedeutende Temperaturerniedrigung, wenn die positive Elektrizität vom Antimon zum Wismut floß, Temperaturerhöhung bei umgekehrter Stromrichtung.

Um diese Temperaturänderung leicht sichtbar zu machen, bediente er sich des nach ihm benannten Peltierschen Kreuzes, bestehend aus zwei senkrecht übereinander verlöteten Wismut- und Antimonstäben. Zunächst wird ein Strom durch die Schenkel des einen rechten Winkels geleitet, er passiert also die Lötstelle, diese erwärmend oder abkühlend, und dann löst man diesen Teil des Kreuzes aus dem Schließungskreise aus, während man die Schenkel des Scheitelwinkels durch einen Draht mit eingeschaltetem Galvanometer schließt, jetzt wirkt die Lötstelle als Thermoelement und man erhält im Galvanometer den Ausschlag der Nadel. Die von Peltier angegebene Richtung des Stromes für zu erzielende Erwärmung oder Abkühlung ist falsch. Dove vermutet, daß es ein Druckfehler sei, und zeigt, daß die Richtung genau die entgegengesetzte

1) Pogg. Annal. Bd. 87. 1852. pag. 415. Bd. 90. 1853. pag. 513.

2) Pogg. Annal. Bd. 101. 1857. pag. 69—105. Bd. 89. 1853. pag. 377.

3) Abhandl. der königl. Gesellsch. der Wissenschaften zu Göttingen. 1861. X., und Zöllner, Elektrodynamische Theorie d. Mat. pag. 150.

4) Pogg. Annal. Bd. 43. 1838. pag. 324.

sein muß von der oben angegebenen, zur Erwärmung der Lötstelle ist also nötig ein Strom vom Antimon zum Wismut, zur Abkühlung ein entgegengesetzt gerichteter.

Die Abkühlung beim Durchfließen des Stromes in der Richtung vom Wismut zum Antimon ist so bedeutend, daß Rieß dieselbe am Luftthermometer nachweisen konnte und Lenz[1]) sogar Wasser zum Frieren und bis auf die Temperatur $-4{,}5^0$ bringen konnte. Näher untersucht wurden diese Verhältnisse von Becquerel dem jüngeren 1847, Quintus Icilius 1853 und Frankenheim 1854. Becquerels Resultat ist, daß die Metalle sich in Bezug auf die Stärke der Temperaturänderung bei derselben Stromstärke in die seiner Zeit angeführte thermoelektrische Reihe ordnen, sodaß Abkühlung beim Strömen der + Elektrizität von dem oberen zum unteren Metall in der Reihe eintritt. Für ein und dieselbe Kombination ist die Temperaturänderung proportional der Intensität des Stromes. Dasselbe Resultat hat Quintus Icilius abgeleitet, während Frankenheim durch Beobachtungen sowohl das Joulesche Gesetz, wie auch das von Quintus Icilius abgeleitete bestätigt fand. Spätere Untersuchungen knüpften an diese beiden Gesetze an.[2]) Für die entwickelte Wärme in einem Stromkreis mit einer solchen Lötstelle gilt nach beiden Gesetzen die Formel

$$W = aJ^2 \mp bJ.$$

Es kann demnach, da für ein bestimmtes a und b, wo a die Konstante des Jouleschen, b die des Quintusschen Gesetzes ist, W sehr verschieden ausfallen, je nach der Stärke des durchgeleiteten Stromes.

251. An diese Versuche über die Wärmewirkung des galvanischen Stromes mögen sich die über die Erwärmung durch die Entladung einer Leydener Flasche oder Batterie, d. h. der Reibungselektrizität reihen, welche wir Rieß[3]) verdanken.

Die Apparate, an welchen er beobachtete, waren das Luft-

1) Pogg. Annal. Bd. 44. 1838. pag. 342.

2) Vergleiche für die neueren Versuche Wiedemann, Lehre von der Elektrizität. II. pag. 419.

3) Pogg. Annal. Bd. 40. 1837. pag. 335; Bd. 43. 1838. pag. 63; Bd. 45. 1838. pag. 1. Rieß, Reibungselektrizität. I. pag. 386—455.

thermometer und das Metallthermometer. Rieß gab dem Kinnersleyschen Luftthermometer die Gestalt, welche wir heute überall angewendet finden. An einer etwa vier Zoll im Durchmesser haltenden Glaskugel ist am unteren Ende eine 200 Linien lange enge Glasröhre angeschmolzen, welche in etwa zwei Zoll Tiefe unter der Kugel rechtwinklig umgebogen ist und an ihrem anderen Ende in einem vertikal nach oben gerichteten oben offenen Glascylinder von zwei Zoll Höhe und fünf bis sechs Linien Querschnitt endet. Diese enge Röhre ist auf einem mit Skala versehenen Brette befestigt und wird durch den Cylinder partiell mit einer Flüssigkeit (Alkohol, Öl oder dergleichen) gefüllt, während die Glaskugel und der benachbarte Teil der Röhre mit Luft gefüllt ist. Das Brett, worauf dieser Glasapparat befestigt ist, ist um eine an dem Ende, wo der vertikale Cylinder sich befindet, angebrachte Achse in vertikaler Ebene über einer festliegenden horizontalen Holzplatte drehbar, sodaß man dem ganzen Apparat eine an einem Messingbügel ablesbare Neigung zur Horizontalebene geben kann und hierdurch, sowie durch Öffnen eines in die Glaskugel luftdicht eingeschliffenen Stöpsels, den Flüssigkeitsfaden in der Röhre auf einen beliebigen Punkt der Skala einstellen kann. Nun wird durch die Kugel in horizontalem Durchmesser eine Platindraht-Spirale gespannt und durch diese der Entladungsschlag der Batterie geleitet. Die Erwärmung des Drahtes teilt sich der umgebenden Luft mit und die Ausdehnung derselben bewirkt, da die Kugel vorher geschlossen ist, ein Herabdrücken der Flüssigkeitssäule. Hieraus ist bei bekanntem Luftvolumen die Temperaturerhöhung derselben leicht berechenbar und unter Vernachlässigung der Abkühlung der Luft in der Kugel durch die Glashülle auch die Temperaturerhöhung des Drahtes.

Im Metallthermometer ist die Temperaturerhöhung an der stärkeren Drehung einer Drahtspirale, welche aus zwei der Länge nach aufeinander gelöteten Silber- und Platinstreifen besteht, zu beobachten, ohne eine absolute Bestimmung der Temperatur direkt zu ermöglichen.

Mit diesen Apparaten fand Rieß bei Anwendung ein und desselben Drahtes: Die Temperaturerhöhung durch die Entladung der Batterie ist proportional dem Produkt aus Elek-

trizitätsmenge und Dichtigkeit, oder auch proportional dem Quadrat der Elektrizitätsmenge dividiert durch die Entladungszeit. (Von dieser wird gleich berichtet werden.) Diese Entladung wird durch Einschaltung eines Drahtes um eine Zeit verzögert, welche der Länge des Drahtes direkt dem Querschnitte umgekehrt proportional und außerdem abhängig von der Natur des Drahtes ist. Rieß nennt diese Konstante die Verzögerungskraft des Drahtes, sie entspricht dem, was wir bei der Leitung eines Stromes den spezifischen Widerstand genannt haben. So ergiebt sich auch der, dem oben angegebenen Verhältnis zwischen Erwärmung eines Drahtes durch einen Strom und Leitungswiderstand desselben analoge Satz, daß die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung proportional ist der Verzögerung der Entladung durch den Draht.

Die Resultate Rieß' bestehen im wesentlichen in folgenden zwei Sätzen:

1) Die durch eine und dieselbe Entladung in zwei verschiedenen, im Schließungsbogen befindlichen, kontinuierlichen Drahtstücken erzeugten Wärmemengen verhalten sich wie ihre reduzierten Längen, wenn man unter reduzierter Länge die Größe $\frac{\lambda}{\varrho^2} x$ versteht, wo λ die wirkliche Länge, ϱ der Radius des Querschnitts und x die eben erwähnte Verzögerungskraft ist.

2) Wenn man unter sonst unveränderten Umständen den Schließungsbogen dadurch verlängert, daß man einen Draht von der reduzierten Länge l einschaltet, so wird dadurch die Erwärmung eines anderen im Schließungsbogen befindlichen Drahtes vermindert, und zwar nahe im Verhältnisse von $(1 + bl) : 1$, worin b eine durch den Versuch zu bestimmende Konstante ist.

Dieselben Gesetze gelten auch für verzweigte Schließungen[1]) entsprechend den später zu erwähnenden Kirchhoffschen Sätzen. Es ist bei diesen Arbeiten von Rieß aber nicht zu vergessen, daß sie früher gemacht sind, wie die Versuche über Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom von Joule. Es verdient daher Beachtung, daß nach

1) Pogg. Annal. Bd. 63. 1844. pag. 481.

Auffindung der letzteren ein weiterer Beweis für die Identität zwischen Reibungs- und Berührungselektrizität gegeben war.

Ehe wir auf die weitere Entwickelung dieser Verhältnisse durch Clausius eingehen, mögen hier noch die wichtigsten Untersuchungen auf dem Gebiete der Reibungselektrizität Platz finden.

Achtes Kapitel.

Reibungselektrizität.

252. Die Entladung einer Batterie durch einen Funken scheint bei oberflächlicher Beobachtung momentan zu geschehen, jedoch schon mit bloßem Auge sieht man, daß dem nicht so ist. Wheatstone[1]) war der Erste, welcher die Zeit messen lehrte, die dazu gebraucht wird, indem er das Bild des Funkens in einem rotierenden Spiegel betrachtete. Aus der Länge des dann für einen leuchtenden Punkt gesehenen Bogens und der Drehungsgeschwindigkeit des Spiegels läßt sich die Dauer des Leuchtens, also die Dauer der Entladung bestimmen. In einem konkreten Falle fand er die Dauer eines Entladungsfunkens von einer Batterie = 0,000 042″.

Wheatstone[2]) untersuchte den elektrischen Funken auch spektroskopisch und fand Frauenhofers Beobachtung bestätigt, daß nämlich der Charakter der im Spektrum auftretenden Linien wesentlich abhängig sei von den Körpern, zwischen welchen der Funken stattfindet, und zwar von beiden, sowohl dem, worauf die + Elektrizität, als auch dem, worauf die − Elektrizität sich befand, ein Beweis, daß von beiden Körpern glühende Teilchen mitgeführt werden. Auch Masson bestätigte durch zahlreiche Experimente diese Thatsache. Die Entladung selbst kann dann kontinuierlich und diskontinuierlich geschehen, je nachdem die Elektrizität von Querschnitt zu Querschnitt in gleicher Stärke fortschreitet oder an einer Stelle eine Verzögerung erfährt, dann sammelt sich hier zunächst so viel Elektrizität, daß dieselbe dann plötzlich das entgegenstehende

1) Phil. Transact 1834. pag. 583.
2) Pogg. Annal. Bd. 36. 1835. pag. 148.

Hindernis durchbricht und zu einem zweiten Querschnitt gelangt, hier dasselbe wiederholend. Diese Unterschiede zwischen der Entladung hat Rieß zuerst aufgestellt.[1]) Diese zweite Art tritt bei der Funkenentladung ein.

253. Wird eine Batterie durch einen Funken entladen, so ist die Schlagweite, d. h. die Länge der Funkenbahn, abhängig von der Dichtigkeit, und zwar dieser direkt proportional, sodaß, wenn d die Schlagweite, q die Elektrizitätsmenge in der Batterie und s die Flaschenzahl bezeichnet, $d = b\frac{q}{s}$ ist, wo b eine Konstante bedeutet. Aus den zahlreichen Versuchen Rieß'[2]) schien sich das Gesetz zu bewahrheiten, sodaß man die Menge der Elektrizität in einer Flasche durch die Schlagweite direkt messen könnte, wie es in der seiner Zeit beschriebenen Laneschen Maßflasche geschehen soll. Später sind die Rießschen Resultate angezweifelt worden von Rijke[3]), und er stellt ein anderes empirisches Gesetz auf, wonach die Dichtigkeit der ersten und der zweiten Potenz der Schlagweite proportional ist. Allein bei der Schwierigkeit der Untersuchung, da Unregelmäßigkeiten, z. B. durch Ausströmen in die Luft, kaum vermeidlich sind, ist eine Entscheidung für oder wider sehr erschwert und man kann wohl nur die Rießschen Formeln als angenähert richtig betrachten. Die Schlagweite ändert sich mit der Natur des zwischenliegenden Gases, wie Faraday[4]) zeigte, und ist nach ihm am größten in Wasserstoff; mit zunehmender Dichtigkeit des hindernden Gases nimmt dieselbe im allgemeinen ab.

254. Der ganze Mechanismus der Entladung ist später (1858) von Feddersen[5]) genauer untersucht, und es löst sich danach der Entladungsschlag einer Batterie in eine Summe einzelner Funken, Partialentladungen, auf, von denen die letzten immer schwächer werden wie die vorhergehenden, sodaß man glauben sollte, sie würden die Schlagweite wegen der geringeren Dichtigkeit nicht überwinden können. Daß dies doch geschieht, hat

1) Rieß, Reibungselektrizität. Bd. 2. pag. 105.
2) Rieß, Reibungselektrizität. Bd. 2. pag. 79.
3) Pogg. Annal. Bd. 106. pag. 411. und 109. pag. 124. 1859 u. 1860.
4) Faraday, Exper. res. S. XII. § 1383.
5) Pogg., Annal. Bd. 103. 1858. pag. 69.

seinen Grund in der durch die Funkendurchbrechung herbeigeführten Verdünnung der Luft an der Stelle, wo der Funken übergesprungen ist. In einer weiteren Abhandlung zeigt Feddersen dann die Existenz einer oszillierenden Ladung, indem nämlich beim Entladen einer Flasche bei der ersten Entladung ein Überschuß positiver Elektrizität auf die früher negative Fläche und umgekehrt übergeht, sodaß bei der zweiten Entladung die Richtung der Vereinigung der positiven und negativen Elektrizität entgegengesetzt ist der bei der ersten Entladung. Die notwendige Existenz einer solchen Entladung ist von Kirchhoff theoretisch[1]) abgeleitet und steht in Übereinstimmung mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft. Feddersen beobachtete hierbei auch die Verzögerung, welche die Entladung erfährt durch Einschalten eines Körpers mit großer Verzögerungskraft z. B. einer Flüssigkeitszelle, eine Thatsache, die schon früher von Weber mit einer feuchten Hanfschnur in den weiter unten zu besprechenden Versuchen benutzt wurde.

255. Von den zahlreichen Versuchen Faradays über den Funken mögen hier nur noch einige erwähnt werden. Faraday[2]) glaubte unterscheiden zu müssen zwischen positiven und negativen Funken, je nachdem der Funke von einem positiv geladenen Konduktor oder negativ geladenen auf einen durch ihn influenzierten Körper übersprang und meinte, daß der positive Funke immer größer sei als der negative. Daß dem nicht so ist, sondern die größere oder geringere Länge des Funkens von der Dichtigkeit und der Gestalt der Oberfläche des Konduktors abhängt, hat Rieß berichtigt.

Auch das Büschellicht hat Faraday untersucht und gezeigt, daß dasselbe aus einer ganzen Anzahl einzelner aufleuchtender und wieder verschwindender Büschel besteht, daß die Größe desselben abhängt von der Dichtigkeit auf dem Konduktor an der Stelle, wo es entsteht, und verschieden ist je nach der Natur des Mediums, in welchem es entsteht. Hierbei ist denn

1) Pogg. Annal. Bde. 100, 111, 121. Vergleiche auch: Helmholtz, die Erhaltung der Kraft. 1847. pag. 44.

2) Exper. res. §§ 1426—1579.

auch zwischen positiven und negativen Büschel zu unterscheiden, indem das letztere in den verschiedenen Gasen sich nahezu gleich groß erwies, während jenes in verschiedenen Gasen verschieden groß und hell erschien, besonders schön im Stickstoff. Nimmt man eine scharfe Spitze, so entsteht statt des Büschels gewöhnlich der sogenannte Stern oder das Glimmlicht, da die umgebende Gasart dann in hervorragendem Grade elektrisch geworden ist wegen der größeren Dichtigkeit der Elektrizität an der Spitze. Auch hier ist die Erscheinung nach der Dichtigkeit des Mediums mancherlei Veränderungen unterworfen, wie Faraday in luftverdünnten Glasröhren zeigte.

256. Sehr ausgedehnt waren Faradays[1]) Versuche über den Einfluß der Isolatoren bei den Kleistschen Flaschen. Er stellte sich Flaschen her, welche eine Veränderung der isolierenden Schicht gestatteten. Bei der Prüfung verschiedener Gase als Isolatoren fand sich für die Elektrizitätsmenge, welche auf diesen sogenannten „Luftflaschen" behalten wird, nahezu dieselbe Größe; wählte Faraday aber feste Isolatoren, wie Schellack, Flintglas, Schwefel etc., so war die Elektrizitätsmenge dieser Flaschen erheblich größer als die der Luftflaschen.

Bei dieser Gelegenheit stellte Faraday auch Beobachtungen über den pag. 25 erwähnten Rückstand an. Nach momentaner Entladung einer Flasche zeigte sich sofort wieder auf den Belegungen eine schwache Elektrizität, welche nach einiger Zeit stark genug war, eine neue Funkenentladung zu ermöglichen, auch nach dieser wiederholt sich die Bildung des Rückstandes, doch ist die Menge der auf den Belegungen zurückbleibenden Elektrizität stets kleiner, wie vor der vorhergehenden Entladung. Der Rückstand ist um so stärker, je länger die Flasche vor der ersten Entladung geladen war. Bei einer Flasche mit isolierender Luftschicht fand sich kein Rückstand, der größte Rückstand bei Anwendung von Walrat als Isolator, dann folgten Schellack, Schwefel, Glas. Je inniger die Belegung den Isolator berührte, um so größer der Rückstand. Aus allen diesen Beobachtungen schloß Faraday, daß der Rückstand durch ein Eindringen der Elektrizität in den Isolator von den

1) Exper. res. § 1128—1294.

legungen aus entstanden sei. Da der Isolator sich von dem iter ja nur durch den Grad der Leitung unterscheide, so nge langsam von der Belegung ein Teil der Elektrizität in isolierende Schicht, nach der Entladung komme die eingedrungene Elektrizität allmählich wieder auf die Belegung, d so setze sich das Wiederabgeben der von dem Isolator genommenen Elektrizität nach jeder Entladung fort.

Rieß fand nun bei oszillierender Entladung die Rückstände einer Belegung bald +, bald − elektrisch; das scheint ser Theorie zu widersprechen. Ferner fand Kohlrausch, der Rückstand immer proportional ist der ursprünglichen ktrizitätsmenge, und daß nach allen folgenden Entladungen Rückstand ein konstanter Bruchteil der vorherigen Ladung

Auf diese Thatsachen gründet Kohlrausch[1]) eine andere orie der Rückstandsbildung, der auch Clausius[2]) beitritt.

Danach haben wir es wesentlich mit einer Influenzwirkung Seiten der Elektrizität der Belegung auf den Isolator zu . Es würde demnach, wenn die innere Belegung positiv ist, ugewandte Seite des Isolators negative Elektrizität, die äußere itive zeigen. Diese Influenzelektrizitäten an den Oberflächen Isolatoren wirken zurück auf die Belegungen und verhindern n Teil der dort vorhandenen entgegengesetzten Elektrizität der Entladung. Ist die Entladung erfolgt, so hört die In- auf den Isolator auf und es wird daher die in demselben handene Elektrizität sich über die Leiter verbreiten und die kstandsladung respräsentieren. Um diese Influenzierung vorzustellen, muß man nach Kohlrausch eine Hypothese r den Zustand des Isolators selbst machen, nämlich daß Moleküle des Isolators bereits in einem Zustand geschiener Elektrizitäten sich befinden, also polar elektrisch sind wie Moleküle des Eisens. Die Influenzierung besteht dann in ner Richtung dieser Moleküle wie beim Magnetisieren; dieser ichtung setzen die Moleküle einen gewissen Widerstand entgen und so erklärt sich das langsame Anwachsen der Ladung ch vorheriger Entladung.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 91. 1854. pag. 56 und 179.

2) Pogg. Annal. Bd. 139. 1870. pag. 276.

Nach dieser Theorie ist es, wie v. Betzold[1]) zeigte, jedoch unmöglich zu erklären, wie die Stärke des Rückstandes abhängen kann von der Dicke des isolierenden Glases, da nach ihr bei den verschiedensten Glasdicken immer derselbe Quotient zwischen ursprünglicher Ladung und Rückstand auftreten muß. Die Schwierigkeiten der älteren Theorie verschwinden auch, wenn man unter dem Eindringen in den Isolator nur versteht, daß dasselbe in dem ganzen Isolator, wenn auch auf ganz geringe Tiefe erfolgt; dann wird nach der Entladung die Elektrizität durch Leitung auf die berührenden Belegungen wieder übergehen. — Eine definitive Entscheidung, welche Theorie die richtige ist, liegt bisher nicht vor.

257. In denselben Zeitabschnitt fallen Wheatstones[2]) Versuche über die Geschwindigkeit der Elektrizität, welche in früherer Zeit, wie berichtet, vergeblich zu messen versucht war. Wheatstone schloß die beiden Belegungen einer Kleistschen Flasche durch einen 2640 engl. Fuß langen, in der Mitte durchschnittenen Draht auf die Weise, daß die vier Enden des Drahtes in vier Kugeln endeten, von denen die beiden Anfangskugeln der beiden Drahtenden zweien mit den beiden Belegungen der Flasche verbundenen Kugeln isoliert gegenüberstanden und ebenso die beiden Endkugeln der Drähte sich gegenseitig gegenüberstanden. Erfolgte nun die Entladung, so entstanden drei Funken zwischen den sechs neben einander stehenden Kugeln und zwar an den der Flasche zugewandten Enden sicher gleichzeitig, an den abgewandten mittleren Enden jedoch, wenn die Elektrizität eine Zeit gebrauchte, die Drahtlängen zu durcheilen, etwas später.

Um diese Verzögerung sichtbar zu machen, bediente sich Wheatstone wieder des rotierenden Spiegels und es zeigte sich hier, wenn die sechs Kugeln alle in einer Reihe nebeneinander aufgestellt waren, sodaß die beiden Endkugeln der Drähte in der Mitte zwischen den beiden anderen Paaren sich befanden, daß die im Spiegel gesehenen Lichtstreifen, welche, wenn alle Funken gleichzeitig stattgefunden hätten, genau übereinander parallel hätten liegen müssen, eine Verschiebung erfahren hatten, sodaß

1) Pogg. Annal. Bde. 114, 125, 137.
Phil. Transact. 1834. pag. 583 ff.

die mittelste Linie, d. h. das Bild des mittleren Funkens, im Sinne der Rotation des Spiegels nach vorn etwas verschoben war, daß also der mittlere Funken etwas später eintrat wie die beiden äußeren. Aus der Größe dieser Verschiebung war die Zeit zu berechnen, welche die Elektrizität gebraucht hatte, um den Weg von 1320 Fuß zu durcheilen, sie fand sich zu 0,000 000 868 Sekunden; es würde demnach die Geschwindigkeit der Elektrizität in einer Sekunde sein = 62 500 Meilen.

258. Faradays Arbeiten auch über die Reibungselektrizität sind mit dem obigen kurzen Résumé nicht erschöpft; er hat auch die früheren Entdeckungen einer Revision unterworfen und dabei teilweise Umbildungen der bisherigen Anschauungen versucht; besonders stark eingreifend in bisher allgemein gehuldigten Lehren ist seine Theorie der Influenz [1]) gewesen, welche von vielen mißverstanden bis zum heutigen Tage hin die Elektriker in zwei feindliche Heerlager trennt.

Aepinus nahm, wie seiner Zeit berichtet ist, an, daß bei der Influenz die Scheidung der Elektrizität auf dem influenzierten Leiter als eine Fernewirkung aufzufassen sei. Dieser Ansicht stellte Faraday die seinige gegenüber, wonach von einer solchen direkten Einwirkung von einem elektrisierten Körper auf einen entfernten isolierten Leiter nicht die Rede sein könne, sondern die Influenz sei vermittelt und zwar durch die Moleküle des zwischenliegenden Nichtleiters. Faraday sieht die Moleküle aller Körper als leitend an; die Leiter unterscheiden sich dann von den Nichtleitern nur dadurch, daß bei letzteren die Moleküle nicht direkt aneinander liegen, sondern durch nichtleitende Schichten getrennt sind; bei ersteren dagegen berühren sich die Moleküle direkt, es geht bei ihnen also die Elektrizität eines solchen Moleküls durch Leitung über auf ein zweites und so fort. Bei den Nichtleitern aber, wo die Elektrizität auf ein benachbartes Molekül wegen der nichtleitenden Schicht nicht übergehen kann, entsteht die Verteilung, sodaß das Molekül polar elektrisch wird, der + Pol dem negativ elektrisierten Körper zugewandt, der negative einem durch diese Influenz + elektrisierten Konduktor. Nun wirkt dies erste Molekül auf

1) Experim. res. S. 11, 12, 13.

sein benachbartes, dieses ebenfalls polarisierend. Der Prozeß der successiven Polarisierung geht auf diese Weise weiter, bis endlich die dem isolierten, der Influenz ausgesetzten Konduktor benachbarte Schicht auf diesen direkt einwirkt und auch hier eine Verteilung hervorruft, die sich, da es ein Leiter ist, über den ganzen Körper ausdehnt. Wegen dieser Annahme nennt Faraday die Nichtleiter „dielektrische" Körper.

Die Wirkung in die Ferne, wie sie von Fechner[1]) und Rieß angenommen wurde, verschwindet bei Faraday also nur scheinbar, denn die Wirkung von Molekül zu Molekül ist doch eine Fernewirkung wegen der trennenden Schicht, nur daß die Entfernung eine sehr kleine ist. Es ist diese Theorie Faradays später von einigen namhaften Physikern in dem Sinne adoptiert, daß sie damit die actio in distans überhaupt als beseitigt ansehen wollten. Aber Faraday sagt das gar nicht, auch war ihm die actio in distans durchaus nicht unangenehm, war ihm doch die allgemeine Massenanziehung ein unumstößlicher Beweis für die Existenz einer solchen Fernewirkung. Er war vielmehr dazu gekommen durch einige Experimente über Influenz auf Nichtleitern. Danach werden auch nichtleitende Cylinder aus Schellack oder Glas, wenn ihnen konaxial ein isolierter elektrischer Konduktor genähert wird, so elektrisch, daß an dem zugewandten Ende des Cylinders die entgegengesetzte, am abgewandten die gleiche Elektrizität wie auf dem Konduktor entsteht. Diese Verteilung auf einem Nichtleiter bildet sich ganz langsam und erreicht nach einer gewissen Zeit ihr Maximum. Entfernt man dann den influenzierenden Konduktor, so verschwindet die Polarisation auf dem Nichtleiter auch allmählich und nur ein kleiner Teil bleibt dauernd zurück.

259. Gegen die Erklärungsweise von Faraday machte Rieß[2]) ganz besonders Front und widerlegte jene Ansicht, wonach die Wirkung des elektrischen Körpers nur durch das Dielektrikum hindurch auf einen unelektrischen Körper verteilend wirke. Er zeigte, wie in der That wohl eine Wirkung auf das Dielektrikum bestehe, aber doch daneben und zwar in

---

1) Pogg. Annal. Bd. 51. 1840. pag. 321.
2) Pogg. Annal. Bde. 92; 93; 96; 97. 1854—56.

weit höherem Grade, die direkte Fernewirkung auf den unelektrischen Konduktor.

Rieß, von dem mir eben, wo ich dies schreibe, die Trauerbotschaft seines Todes zugeht, ist in dieser Beziehung noch heute maßgebend. Peter Theophil Rieß war 1805 in Berlin geboren, wo er auch studierte und Professor an der Universiät wurde. Seit 1836 beschäftigte er sich fast ausschließlich mit Elektrizität und faßte seine bis 1853 gemachten Versuche zusammen in dem noch heute maßgebenden Werke „Die Lehre von der Reibungselektrizität" 1853. Seine Entgegnung gegen Faraday beginnt mit dem Jahre 1854 und endete mit einer in Übereinstimmung mit Faraday geschriebenen Abhandlung 1856. Er starb am 22. Oktober 1883.

Wird ein isolierter Konduktor einem elektrisierten genähert, so ist im zugewandten Ende die entgegengesetzte Elektrizität, diese nennt Rieß[1]) die Influenzelektrizität erster Art, am abgewandten Ende die gleiche, die nennt er die zweiter Art, dazwischen liegt eine neutrale Schicht. Wird der influenzierende Körper fortgenommen, so vereinigen sich die geschiedenen Elektrizitäten wieder und es entsteht der zuerst von Lord Mahon Stanhope 1779 beobachtete Rückschlag, welcher auch wohl bei den ersten Froschschenkelversuchen Galvanis die Ursache der Erschütterung war, und welcher bei Blitzschlägen häufig die Ursache der Tötung eines Menschen oder Tieres ist, welches in der Nähe weilt. Die Art dieser Influenz bleibt bestehen, wenn auch eine elektrische Platte zwischen die beiden Konduktoren gebracht wird, nur der Grad ändert sich, entsprechend der nun auch auf die zwischenliegende Platte ausgeübten Verteilung und wird daher die Menge der geschiedenen Elektrizität größer.

260. Die Influenz hatte schon 1831 als Prinzip für eine Elektrisiermaschine dem Italiener Belli[2]) gedient. In einem aus doppelwandigen, durch eine Harzschicht getrennten, aus zwei Hälften, I und II, bestehenden Eisenblechkasten, konnte eine um eine vertikale Achse drehbare Glasscheibe, welche auf der oberen Oberfläche mit drei von einander isolierten Stanniolflächen

---

1) Die Lehre von der Reibungselektrizität. I. pag. 178 ff.

2) Wiedemann, Lehre von der Elektrizität. II. pag. 196.

beklebt war, in Rotation versetzt werden. Durch die obere Wandung des Eisenblechkastens ragten in beiden Hälften durch Glasröhren von den Eisenblechen getrennt, zwei Drähte mit feinen Metallpinseln bis auf die Belegungen der Glasscheibe. Ferner war die äußere Eisenwand des Kastens in jeder Hälfte durch je einen zweiten Draht, der ebenfalls durch eine Glasröhre isoliert war, durchbrochen, dieser endete auf dem inneren Blechmantel des Kastens, welcher durch die erwähnte Harzschicht von dem äußeren isoliert war. Ladet man nun die innere Hülle der Blechkastenhälfte I schwach positiv, so influenziert diese auf die Belegung auf der sich in dem Kastenteil befindenden Hälfte der Scheibe, leitet man die Influenzelektrizität zweiter Art durch den Metallpinsel ab zur Erde, so bleibt die erster Art auf der Stanniolplatte; dreht man nun die Scheibe herum, sodaß diese negative Stanniolplatte in die zweite Kastenhälfte gelangt, so wird ihre negative Elektrizität durch die Metallpinsel mit dem daran befindlichen Draht zu dem zur inneren Eisenwand führenden Drahte geleitet, sodaß sich in dieser zweiten Kastenhälfte die innere Wand allmählich — ladet; je häufiger gedreht wird, desto stärker wird die Ladung. Hat man so eine — Ladung in Kasten II hervorgerufen, stärker wie die + Ladung in I ist, so kehrt man die Sache um, läßt den Kasten II influenzierend wirken auf die Stanniolblättchen, indem man den Metallpinsel dieser Hälfte ableitet zur Erde und die nun auf den Belegungen bleibende + Elektrizität im ersten Kasten auf die innere Fläche leitet, dadurch wird die + Elektrizität verstärkt. Diesen Wechsel setzt man so lange fort, bis die + und — Elektrizität in beiden Kasten ihr Maximum erreicht hat, und gebraucht dann die Influenzelektrizität zweiter Art von den Belegungen, je nachdem man + oder — Elektrizität haben will, aus Kasten II oder I, indem man die aus dem andern zur Erde ableitet. Der Apparat ist sehr umständlich und hat deswegen wenig Verbreitung gefunden.

Erst in unserer Zeit ist gleichzeitig von Töpler[1]) und Holz[2]) 1865 die Influenz angewendet zur Konstruktion vor-

1) Pogg. Annal. Bd. 125. pag. 469. 1865.

2) Pogg. Annal. Bd. 126. pag. 157. 1865; Bd. 127. pag. 320.

züglich wirkender Influenzmaschinen, auf deren Konstruktion ich hier nicht eingehen kann. Ich verweise in Bezug darauf auf die sehr umfassende Darstellung in Wiedemanns Lehrbuch Band II.

261. Auch die Elektrisiermaschinen, welche auf Reibung beruhen, haben in diesem Zeitabschnitt eine neue Ausbildung erfahren. Ich habe seiner Zeit die Versuche erwähnt über die Elektrizitätsentwicklung bei Verdampfung, und damals bereits der Untersuchungen Pouillets gedacht, welche mit dem Resultat endeten, daß beim Verdampfen des Wassers nur dann Elektrizität entstehe, wenn das Wasser mit Salz oder sonstigen festen Körpern gemischt sei, sodaß eine Trennung des Wassers von diesen bei der Verdampfung stattfinde, oder wenn das Wasser mit den Bestandteilen des Tiegels eine chemische Verbindung eingehe. Faraday[1]) zeigte in der 18. Reihe seiner Experimental-Untersuchungen, daß der Grund dieser Elektrizität lediglich die Reibung des Dampfes an den festen Teilen des Gefäßes sei [2]) Die Frage war nämlich durch eine zufällige Beobachtung zu einer brennenden geworden.

Im Oktober 1840 hielt zu Seghill bei Newcastle ein Arbeiter seine Hand in den aus dem Sicherheitsventil strömenden Dampf und erhielt, wie er mit der andern Hand das Ventil selbst berührte, einen heftigen Schlag. Der miteintretende Funke belehrte ihn, daß er es mit einem elektrischen Schlage zu thun gehabt habe. Diese Beobachtung wurde in England vielfach wiederholt, bis schließlich 1845 Armstrong[3]) mit der Konstruktion einer „Dampfelektrisiermaschine" hervortrat.

Ein mäßig großer Kessel mit Feuerungsraum etc., gänzlich

1) Pogg. Annal. Bd. 60. 1843. pag. 321.

2) Die Frage, ob eventuell bei Kondensation von Wasserdampf, wie das ja beim Ausströmen des Dampfes stattfindet, eine Elektrizitätserregung stattfindet, ist in neuester Zeit von S. Kalischer näher untersucht in Wiedemanns Annal. Band 20. 1883. pag. 614, mit durchaus negativem Resultat. Es ist danach kaum zweifelhaft, daß an eine Elektrizitätserregung durch Kondensation nicht zu denken ist, wir also auch die Gewitterelektrizität nicht auf diese Weise, d. h. überhaupt nicht ausreichend, erklären können.

3) Wüllner, Lehrbuch. 3. Ausgabe 1872. IV. pag. 260. cf. Phil. Mag. Ser. III. Bd. XX. 1841.

auf sechs Glasfüßen isoliert, dient zur Erzeugung des Dampfes, welcher aus 46 gebogenen Eisenröhren mit ganz besonders eingerichteten Mundstücken ausströmt. In diesen Mundstücken erfährt der Dampf eine große Reibung, dadurch wird er selbst + elektrisch, die Mundstücke, also auch der Kessel — elektrisch. Läßt man den Dampf gegen einen isolierten Konduktor stoßen, so erhält man auf demselben die + Elektrizität angesammelt, während vom Kessel die — Elektrizität erhalten wird. Die Menge ist so groß, daß Armstrong Funken von 22 Zoll Länge erhielt, alle möglichen Zersetzungen dadurch bewerkstelligte und eine große Batterie in kürzester Zeit damit lud. Um dem Konduktor möglichst schnell und vollständig die Elektrizität des Dampfes mitzutheilen, bedient man sich eines Metallkammes, durch welchen der ausströmende Dampf hindurchgetrieben wird, der also möglichst große Oberflächen zur Berührung hat. Faraday weist nach, daß es nicht eigentlich die Reibung des Dampfes ist, die die Elektrizität bewirkt, sondern die des bereits zu Wasserkügelchen kondensierten Dampfes an dem festen Konduktorkamme, wenigstens ist die Reibung durch letztere weitaus die Hauptsache.

Neuntes Kapitel.

Die Potentialtheorie.

262. Die Lehre von der Elektrizität hat, wie die gesammte Physik, einen großartigen Aufschwung erfahren durch die Einführung des Potentials. Ich habe schon bei der Besprechung der Poissonschen Arbeit von 1811 darauf hingewiesen, mit welchen ungemeinen Schwierigkeiten jener Mann zu kämpfen hatte, da er nicht die Hilfsmittel hatte, die die mathematische Behandlung der Funktion, welche den Namen Potentialfunktion erhielt, später bot.[1]) Die Anfänge hierzu hat Laplace schon 1782 geliefert. Laplace[2]) ging aus von der allgemeinen

1) Vergl. pag. 191.

2) Théorie des attractions des Sphéroides et de la figure des Planètes in den Mémoires de l'Acad. des Scienc. 1782. Besonders ausgebildet findet sich die Methode in seiner Mechanique celeste, 1799—1825, speziell Buch I. In Buch II: Anwendung auf die Gravitation.

Newtonschen Gravitation, nachdem er vorher die Bedingungen des Gleichgewichts und die Zusammensetzung von Kräften betrachtet hat, wonach die Anziehung zweier Massen m und m' in der Entfernung r proportional $\frac{m \cdot m'}{r^2}$ ist. Setzt man die dabei nötige Konstante gleich 1, d. h. setzt man die Kraft gleich 1, welche besteht zwischen zwei Massen 1 in der Entfernung 1, so ist die Kraft für jeden andern Fall $= \frac{m \cdot m'}{r^2}$. Zerlegt man diese in rechtwinklige Komponenten, so erhält man die Kraftkomponenten durch partielle Differentiation eines Ausdruckes $= \frac{m \cdot m'}{r}$ nach den Koordinaten. Nimmt man dann an die Masse des einen Punktes sei gleich 1, so sind die Komponenten der von einer beliebigen Anzahl Massenpunkte m in den Entfernungen r ausgeübten Anziehung auf diesen Punkt die partiellen Dirivierten von $\sum \frac{m}{r}$, wo die Summation über alle m und zugehörigen r auszudehnen ist. Diese Funktion bezeichnet Laplace mit V. Füllen die Massenpunkte einen Raum stetig aus und bezeichnet ϱ die Dichtigkeit eines in dem Raum liegenden Parallelopipedons mit den Seitenkanten da, db, dc, so ist

$$V = \iiint \frac{\varrho \cdot da \cdot db \cdot dc}{r}.$$

Von dieser Funktion V zeigt Laplace, daß sie der Gleichung genügt:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = o.$$

Laplace hielt diese Gleichung für allgemein gültig, Poisson zeigte, daß dieselbe nur gilt, wenn der Punkt (xyz) außerhalb des mit Masse behafteten Raumes liegt. Von der Behandlungsweise Poissons, von der ich auf pag. 189 nichts weiter sagen konnte, sei hier, da sie das Vorbild für Thomsoms Methode gewesen ist, nur bemerkt, dass Poisson von Polarkoordinaten ausgeht. Die Laplacesche Funktion V entwickelt in eine Reihe von Integralen nach steigenden Potenzen der reciproken Entfernung sowohl für einen Punkt im Innern des mit Masse umhüllten Raumes, wie für einen Punkt ausserhalb desselben. Durch diese Betrachtung findet sich, daß obige Laplacesche Gleichung für einen Punkt im Innern den Wert

$4\pi y$ (wir sagen $-4\pi y$) hat, wenn y die Dichtigkeit an der Stelle ist.

263. Im Jahre 1828 erschien zu Nottingham[1]) eine Schrift des damals noch ganz unbekannten George Green, durch welche diese Funktion V eine wichtige Bedeutung erhielt. Nach einer wesentlich historischen Einleitung zeigte er zunächst, daß die obige Gleichung für einen Punkt im Innern des Körpers den Wert $-4\pi\varrho$ bekommt. Dann giebt er der Funktion den Namen Potentialfunktion. Bei ihm ist unter ϱ nicht die Dichtigkeit des Körpers zu verstehen, sondern die elektrische Dichtigkeit im Punkt (xyz), da er nur von elektrischer Anziehung und Abstoßung spricht; er behandelt die Elektrizität demgemäß als eine den Körper füllende Flüssigkeit. Dann leitet er seinen bekannten funktionstheoretischen Satz ab, der noch heute die wichtigste Rolle bei derartigen Untersuchungen spielt. Die Gleichung lautet:

$$\int\!\!\int\!\!\int dx.dy.dz.U.\delta V + \int d\sigma.U.\left(\frac{dV}{dw}\right) =$$
$$\int\!\!\int\!\!\int dx.dy.dz.V.\delta U + \int d\sigma.V.\left(\frac{dU}{dw}\right);$$

wo δV zur Abkürzung für den Ausdruck in der Laplaceschen Gleichung geschrieben ist, $d\sigma$ ein Oberflächenelement und dw ein Linienelement, senkrecht zu $d\sigma$ nach dem Innern des Körpers zu, bezeichnet.

Mit Hilfe dieses Satzes macht sich Green nun an die Aufgabe eine Gleichung zu finden zwischen der Dichtigkeit auf der Oberfläche eines Körpers und der Potentialfunktion im Innern und außen, und er findet, daß beim Durchgange durch die Oberfläche die Potentialfunktion einen Sprung um $4\pi\varrho$

---

1) An Essay on the Application of mathematical Analysis to the theories of Electricity and Magnetism. Crelles Journal, Bd. 39. pag. 73; Bd. 44. pag. 356; Bd. 47. pag. 161. Die Potentialfunktion führt Green mit folgenden Worten Bd. 44. pag. 359 ein: As this function, which gives in so simple a form the values of the forces by which a particle p of electricity, any how situated, is impelled, will recur very frequently in what follows, we have ventured to call it the potential function belonging to the system, and it will evidently be a function of the co-ordinates of the particle p under consideration.

macht. Es läßt sich dann die Potentialfunktion V für jeden Punkt im Innern berechnen, wenn der Wert an der Oberfläche gegeben ist und δV im Innern bekannt ist. U muß dann eine Funktion sein, die im Innern der Gleichung $\delta U = o$ genügt, bei Annäherung an den Punkt (xyz) unendlich wird wie $\frac{1}{r}$, wenn r zu o wird, und auf der Oberfläche $= o$ ist.

Dann zeigt Green (Crelle, Bd. 44. pag. 370) im sechsten Artikel, daß, wenn wir zwei Punkte p und p' haben, deren Koordinaten reciprok sind, und von denen der eine p' im Innern eines Körpers mit der geschlossenen Oberfläche A sich befindet, der zweite p außerhalb des Körpers liegt und mit der Elektrizitätsmenge Q versehen auf die Oberfläche A influenziert, das Potential von A, ausgeübt auf den Punkt p', gerade so groß ist wie das Potential von A auf den Punkt p, wenn nicht dieser die influenzierende Elektrizitätsmenge Q hätte, sondern der Punkt p'. Es ist dies das Prinzip der reciproken Radien, wie es zuerst von Poisson (siehe pag. 191 und oben) angewandt wurde. Mit diesen Hilfsmitteln ist es Green möglich, die Dichtigkeit aus der Potentialfunktion und umgekehrt zu berechnen.

Als erstes Beispiel wählt Green die Leydener Flasche und findet, daß die beiden Belegungen in zwei gleichgroßen Flächen gleiche aber entgegengesetzte Elektrizitätsmengen haben müssen. Der Fall der einfachsten Art der Verstärkung auf einer Franklinschen Tafel ist in einer späteren Arbeit Greens[1]) für den Fall einer Kreisplatte genauer untersucht und die Resultate der Rechnung mit Coulombschen Beobachtungsresultaten verglichen. Dasselbe Problem behandelt Murphy[2]), während Clausius[3]) 1852 die Behandlung auf eine Ellipsenfläche ausdehnte und bei ihm ferner die auf den Belegungen vorhandenen elektrischen Massen nicht gleich sein müssen. Clausius steht übrigens bei dieser Untersuchung auf dem Boden der ersten Greenschen Arbeit.

---

1) Phil. Transact. of Cambridge Soc. V.

2) Elementary Principles of the Theories of Electricity etc Cambr. 1833. pag. 70.

3) Pogg. Annal. Bd. 86. 1852. pag. 161.

Dann betrachtet Green eine Kaskadenbatterie und findet, daß, wenn alle inneren Belegungen mit einem elektrisierten Konduktor verbunden, die äußeren zur Erde abgeleitet sind, die Gesamtladung dieselbe ist, als wenn eine einzelne Flasche mit demselben Konduktor verbunden ist. Dann wendet er sich der Influenz auf irgend welchen Körpern zu und betrachtet speziell eine Hohlkugel, zwei Kugeln und mehrere Kugeln in ihrer Wirkung auf einen Punkt, endlich zwei durch einen langen Draht verbundene Kugeln und läßt dann den Radius der einen Kugel unendlich klein werden, sodaß er den Fall der Spitzenwirkung hat. Dann wendet er sich zur Anwendung auf die Theorie des Magnetismus, was uns hier nicht interessiert.

264. Diese so äußerst wichtige Arbeit blieb fast ganz unbekannt, nicht einmal die Engländer haben dieselbe benutzt, geschweige denn die Bewohner des Kontinents. Erst viele Jahre später, als schon in Deutschland von einem andern Gesichtspunkte aus die Sache behandelt und bedeutend weiter geführt war, wurde die Arbeit Greens von Thomson, dem berühmten Physiker, ausgegraben und nun veröffentlicht in Crelles Journal von 1850—1854. Es war daher Gauß durchaus unbeeinflußt von Green als er sich an die Veröffentlichung seiner „Allgemeinen Lehrsätze etc.“ machte [1]), welche die Grundlage unserer Potentialtheorie enthalten und dieselbe fast völlig durchführen. Übrigens kann man, wenn man genau sein will, die Anfänge dazu schon in der Theoria attractionis corporum Sphaeroidicorum etc. finden, da darin aber noch nicht vom Potential die Rede ist, gehen wir gleich zu der Arbeit aus dem Jahre 1839 über.

Gauß beschäftigt sich zunächst gar nicht mit der Elektrizität, sondern geht, wie Laplace, von der allgemeinen Gravitation aus, fügt jedoch gleich hinzu, daß dieselbe Betrachtung auch auf Elektrizität und Magnetismus anwendbar sei. Er zeigt für diesen Fall der Attraktion zunächst die Existenz der Funktion $V = \sum \frac{m}{r}$ und giebt im § 3 die Definition für diese Funktion V, er nennt dieselbe nicht Potentialfunktion, sondern das

1) Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1839, pag. 1—52.

Potential der Massen m auf den Punkt von der Masse 1 in den respektiven Entfernungen r. Im allgemeineren Sinne will Gauß dann auch für Anziehungsgesetze, welche nicht Kräfte, die im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen wirken, voraussetzen, das Potential als eine solche Funktion der Koordinaten des betreffenden Punktes betrachtet wissen, deren partielle Differentialquotienten die Komponenten der erzeugten Kraft vorstellen.

Die Kraft p ist dann gegeben durch die Gleichung:

$$p = \sqrt{\left(\frac{dV}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dV}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dV}{dz}\right)^2}.$$

Im folgenden Paragraph führt Gauß die Bezeichnung einer „Gleichgewichtsfläche" ein, auf ihr ist $V = \text{const.}$, dann ist die Richtung der Kraft in jedem Punkte der Fläche gegen diese selbst normal. Für alle Punkte außerhalb aller anziehenden und abstoßenden Teilchen gilt die Laplacesche Gleichung. Um auch für Punkte innerhalb eines wirksamen Raumes die Betrachtung nutzbringend zu machen, zeigt Gauß, daß V auch für diesen Fall endlich und stetig ist, ebenso die ersten Differentialquotienten. Für die zweiten Differentialquotienten behandelt er den Fall einer Kugel, deren Mittelpunkt im Koordinaten-Anfangspunkt liegt, deren Dichtigkeit überall konstant $= k$ ist, dann ist der Laplacesche Ausdruck im Innern $= -4\pi k$, die zweiten Differentialquotienten sind also nicht mehr stetig beim Durchgange durch die Fläche.

Nach diesem speziellen Fall beweist Gauß auch allgemein, daß

$$\delta V = -4\pi k$$

ist, wenn k die Dichte des betrachteten Punktes im Innern des beliebig gestalteten wirksamen Körpers ist, zunächst unter der Voraussetzung, daß die Dichte sich stetig ändert; dann zeigt er, daß diese Stetigkeit anzunehmen nur nötig ist in dem betrachteten Punkt und seiner, wenn auch noch so kleinen, Umgebung. Darauf wendet sich Gauß zur Betrachtung des Oberflächenwertes und findet den Laplaceschen Ausdruck

$$= -2\pi k,$$

wenn einzelne singuläre Fälle ausgeschlossen werden.

Bis hierher sind die Resultate seiner Untersuchung adäquat denen Poissons, aber die Methode der Ableitung einfacher und streng. Nun leitet er neue Sätze ab, von denen die wichtigsten hier folgen mögen.

Wenn zwei Systeme von Maßen M', M'' etc. und m', m'' etc. sich in den respektiven Punkten P', P'' etc. und p', p'' etc. befinden und V', V'' etc. die Potentiale des ersten Systems in den Punkten p', p'' etc., ebenso v', v'' etc. die Potentiale des zweiten Systems in den Punkten P', P'' etc. bedeuten, so ist $\Sigma M . v = \Sigma m . V$. Bilden die Punkte eine zusammenhängende Fläche, so wird aus dem Summenzeichen das Integral.

Das Potential V von Massen, die alle außerhalb eines bestimmten Raumes liegen, kann nicht in einem Teile dieses Raumes einen konstanten Wert, zugleich in einem anderen Teile desselben aber einen davon verschiedenen Wert haben.

Bezeichnet ds ein Oberflächenelement eines Raumes T, der ohne Masse ist, und p die Entfernung eines beliebigen Punktes von dem in der Fläche selbst liegenden Koordinaten-Anfangspunkte, endlich q die aus der außerhalb des Raumes befindlichen Massenverteilung, welche, wenn sie sich auch auf die Oberfläche bezieht, hier stetig sein muß, entspringende Kraft in einem Elemente des Raumes T, so ist $\int V \frac{dV}{dp} . ds = - \int q^2 \, dT$, das erste Integral über die Fläche, das zweite über den Raum T ausgedehnt.

Wenn von Massen, welche sich bloß innerhalb des endlichen Raumes T, oder auch ganz oder teilweise nach der Stetigkeit verteilt, auf dessen Oberfläche S befinden, das Potential in allen Punkten von S einen konstanten Wert $= A$ hat, so ist das Potential in jedem Punkte des äußeren unendlichen Raumes $= o$, wenn $A = o$ ist, aber kleiner als A und mit demselben Vorzeichen versehen, wenn A nicht $= o$ ist. Der erste Fall kann nur eintreten, wenn die Summe aller Massen selbst $= o$ ist, der zweite, wenn sie $\gtreqless o$ ist.

Endlich der wichtigste Satz: „Anstatt einer beliebigen gegebenen Massenverteilung D, welche entweder bloß auf den inneren von einer geschlossenen Fläche begrenzten Raum beschränkt ist, oder bloß auf den äußeren Raum läßt sich eine

Massenverteilung E bloß auf der Fläche substituieren, mit dem Erfolge, daß die Wirkung von E der von D gleich wird in allen Punkten des äußeren Raumes für den ersten Fall oder in allen Punkten des inneren Raumes für den zweiten."

Der in der Abhandlung über den Erdmagnetismus[1]) benutzte Satz ist nur ein spezieller Fall dieses allgemeinen.

265. Es muß noch bemerkt werden, daß die Bezeichnung Potential bei Gauß dasselbe bedeutet wie die Potentialfunktion Greens, und daß wir heute nach der Einführung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft unter Potential einer beliebigen Massenverteilung auf sich selbst eine Arbeit verstehen, indem wir so definieren[2]): das Potential eines Systems von Massenpunkten auf sich selbst ist die Arbeit, welche verrichtet würde bei der Übertragung der Punkte aus unendlicher Entfernung in ihre wirkliche Lage; oder wenn wir von dem Potential eines Massensystems auf ein anderes reden, den Ausdruck:

$$V = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{k=1}^{k=m} \frac{m_i m'_k}{r_{ik}}$$

meinen, wo $m_1 \ldots . m_n$ die Massenpunkte des einen Systems, $m'_1 \ldots . m'_m$ die Massenpunkte des anderen Systems sind und r_{ik} ihre respektiven Entfernungen bedeutet. Es empfiehlt sich sicherlich nach dem Vorgange von Clausius (Pogg. Annal. Bd. 86. pag. 163), die Unterscheidung zwischen Potentialfunktion und Potential zu machen, sodaß „Potentialfunktion" bezogen ist auf die Masseneinheit, also sich darstellt als $V = \sum \frac{m}{r}$, während „Potential" bezogen ist auf die Masse m', also obige Gestalt zeigt.

Scheinbar hat diese Untersuchung von Gauß mit Elektrizität gar nichts zu thun, und doch ist sie die Grundlage für die ganze moderne Forschung auf dem Gebiet der Elektrizitätsverteilung. Was Coulomb mühsam experimentell fand, ohne zu einem allgemeineren Gesetz der Verteilung zu gelangen, was Poisson für einzelne Fälle mit ganz besonderen Schwierig-

1) Intensitas vis terrestris magneticae etc. pag. 10. 1833.

2) Bernh. Riemann, Schwere, Elektrizität u. Magnetismus. pag. 158. Vergl. auch Clausius, Potentialtheorie. 1865. II. Aufl.

ten ausrechnete, das ergiebt sich mit Hilfe dieser Potentialtheorie unter allgemeinen Gesichtspunkten. Es ist daher die Ausbildung dieser Theorie von allen Physikern mit Freuden begrüßt. Um dieselbe haben sich besonders verdient gemacht in Deutschland Dirichlet[1]), welcher seit 1846 bis zu seinem Tode darin thätig war und diese Theorie in besonderen Vorlesungen auf deutschen Universitäten einbürgerte, sein Nachfolger im Amte war auch sein Nachfolger in diesem Teil der Wissenschaft und Riemann[2]) verdankt diese Theorie viele neue Methoden; es sei, da mir ein weiteres Eingehen auf die Potentialtheorie selbstredend nicht gestattet ist, nur erwähnt, daß Dirichlet seinen wesentlichsten Stützpunkt in Gauß' Arbeit findet, während Riemann den Greenschen Satz besonders häufig anwendet. In England war es ganz besonders Thomson, welcher Greens und Gauß' Arbeiten weiter förderte, z. B. in der von ihm erfundenen Methode der sphärischen Spiegelung und deren Zusammenhang mit der Laplaceschen Gleichung[3]). Die meisten dieser Arbeiten erfordern einen so umfassenden mathematischen Apparat, daß ich sie hier nicht reproduzieren kann.

Ein sehr schönes Beispiel, wie man ohne die ganzen mathematischen Hülfsmittel zu der Überzeugung kommen kann, wie eine in einer Hohlkugel befindliche Summe elektrischer Kräfte in ihrer Wirkung ersetzt werden kann durch eine elektrische Verteilung auf der Oberfläche, giebt Faraday in einem Briefe an R. Phillips[4]), in welchem er lediglich durch Anwendung seiner Theorie von der Verteilung der Elektrizität zu dem Schlusse kommt, daß die verteilende Wirkung einer dünnen

---

1) Vergleiche neben Dirichlets Vorlesungen besonders seine Abhandlung: Sur un moyen géneral etc. in Crelles Journal, Bd. 32, wo er den von Green ohne Beweis angenommenen Satz, daß es eine und nur eine Funktion U im Sinne Greens gebe, der von Gauß aus den Prinzipien der Potentialtheorie selbst bewiesen wurde, rein analytisch beweist. Die charakteristischen Eigenschaften eines Flächenpotentials finden sich auch in den Monatsberichten der Berl. Akad. 1846. pag. 211.

2) Riemann in seiner Vorlesung über Schwere etc., sowie in mehreren Aufsätzen cf. gesammelte Werke. pag. 48, 280, 345, 407, 413.

Lionvilles Journal. X. pag. 364, XII. pag. 259 u. 275. Vergl. auch Lipschitz in Crelles Journal. Bd. 61. pag. 1 ff. 1863.

Pogg. Annal. Bd. 58. pag. 603.

ungeladenen Metallhohlkugel, welche isoliert aufgehangen und mit einer sehr großen Anzahl kleiner beliebig mit Elektrizität geladener Teilchen angefüllt ist, gleich ist der von derselben leeren Hohlkugel ausgeübten, wenn sie mit der algebraischen Summe der Elektrizitäten auf der Oberfläche geladen ist.

266. An diese Bemerkungen über das Potential mögen die in unseren Zeitabschnitt fallenden Arbeiten Kirchhoffs, welcher damals noch Student in Königsberg war, angeschlossen werden, da sie wenigstens zum Teil sich des Potentials bereits bedienen. Die erste Arbeit[1]) behandelt den Fall des Durchganges des elektrischen Stromes durch eine Ebene. Die elektrische Spannung an einer Stelle sei u, diese ist eine Funktion der Coordinaten des Punktes. Die Gleichung $f(xy) = u_0$, wenn $u_0 = \text{constant}$ ist, bezeichnet dann eine Kurve gleicher Spannung. Durch irgend ein Linienelement ds fließt dann in der Richtung der darauf senkrechten Normalen N, wenn k die Leitungsfähigkeit und δ die Dicke der Schicht bezeichnet, in der Zeiteinheit die Menge $= -k\delta \, . \, ds \cdot \frac{du}{dN}$, damit dann auf der ganzen Fläche ein stationärer Zustand eintritt, muß $\int ds \frac{du}{dN} = o$ sein, wenn die Integration ausgedehnt wird über die ganze Kurve, deren Element ds ist. Das ist nur möglich, wenn

$$\frac{d^2 u}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dy^2} = o$$

ist (die der Laplaceschen Gleichung entsprechende für die Ebene). Tritt in die Scheibe an einzelnen Punkten die Elektrizität E_1, E_2 etc. ein, so muß für eine Kurve, welche einen solchen Punkt umschließt,

$$-k\delta \int ds \cdot \frac{du}{dN} = E$$

sein. Für den Fall, daß die Scheibe unendlich ist, muß u in der Unendlichkeit einen bestimmten endlichen Wert haben, sonst muß an der Grenze $du/dN = o$ sein. Ferner soll die Spannung in einem bestimmten Punkte eine gegebene sein, dann ist u eindeutig bestimmt. Dies u bestimmt Kirchhoff für eine un-

1) Pogg. Annal. Bd. 64. 1845. pag. 497.

endliche Scheibe und erhält für begrenzte denselben Wert, wenn die Grenze der Scheibe die Kurven gleicher Spannung rechtwinklig schneidet, dann sind die Kurven gleicher Spannung, wenn nur zwei Einströmungspunkte da sind, durch die Gleichung $r_2 : r_1 = \text{const.}$ gegeben, wo r_2 und r_1 die respektiven Entfernungen von den Einströmungspunkten sind, d. h. es sind Kreise, welche über der Entfernung der zu den Einströmungspunkten harmonisch liegenden Punkten als Durchmesser beschrieben sind. Durch Experiment bewahrheitet Kirchhoff diese Ableitung durch Messungen auf einer Kupferscheibe.

267. Am Schlusse dieser Abhandlung giebt Kirchhoff seine beiden wichtigen Gesetze der Stromverzweigung[1]) in einer Anmerkung. Der Satz lautet:

Wird ein System von Drähten, die auf eine ganz beliebige Weise mit einander verbunden sind, von galvanischen Strömen durchflossen, so ist:

1) wenn die Drähte $1, 2 \ldots \mu$ in einem Punkte zusammenstoßen, $J_1 + J_2 + \ldots + J_\mu = o$, wo J_1, J_2 etc. die Intensitäten in den betreffenden Drähten sind, welche alle nach dem Berührungspunkte zu positiv zu rechnen sind.

2) wenn die Drähte $1, 2 \ldots r$ eine geschlossene Figur bilden $J_1 w_1 + J_2 w_2 + \ldots + J_r w_r =$ der Summe aller elektromotorischen Kräfte, die sich auf dem Wege $1, 2 \ldots r$ befinden, wo $w_1, w_2 \ldots w_r$ die Widerstände der Drähte $1, 2 \ldots r$ sind, $J_1, J_2 \ldots$ die zugehörigen Intensitäten, alle nach einer Richtung positiv gerechnet.

Der Beweis des ersten Satzes ist ohne weiteres klar, da ohne Ansammlung von Spannungselektrizität einem Punkte gerade soviel Elektrizität zugeführt werden muß, wie abgeleitet wird, der des zweiten ergiebt sich aus der Betrachtung der Spannung an den Berührungspunkten zweier Drähte. Sei die Spannung im Anfangspunkt des ersten Drahtes m_1, des zweiten m_2 etc., sei l_x die Länge des $x$ten Drahtes, K_1 die elektromotorische Kraft an der Berührungsstelle von 1 u. 2 etc., so ist:

1) Pogg. Annal. Bd. 64. 1845. pag. 513.

$$\begin{aligned} m_1 - n_1 l_1 + K_1 &= m_2 \\ m_2 - n_2 l_2 + K_2 &= m_3 \\ \ldots\ldots &= . \\ \ldots\ldots &= . \\ m_r - n_r l_r + K_r &= m_1, \end{aligned}$$

d. h. $n_1 l_1 + n_2 l_2 + \ldots + n_r l_r = K_1 + K_2 + \ldots + K_r$. Da ferner $J_x = n_x k_x q_x$ und $w_x = \frac{l_x}{k_x \cdot q_x}$ ist, wenn k_x die spezifische Leitungsfähigkeit des Drahtes x und q_x sein Querschnitt ist. Setzen wir die Werte $n_x \cdot l_x$ aus diesen beiden Gleichungen in die erste ein, so folgt der zweite Satz.

Speziell wendet Kirchhoff das an auf eine bestimmte Drahtkombination, die zuerst von Wheatstone[1]) angewandt wurde für Messungen. In beistehendem Schema wird in dem Drahte 5 ein Galvanometer aufgestellt; Wheatstone gebrauchte ein Differentialgalvanometer (siehe weiter unten) und bestimmte damit das Verhältnis der Widerstände in den Drähten 1, 2, 3, 4. Kirchhoff behandelt den Fall, daß der Strom in 5 = o sein soll; dann ist nach obigen Sätzen

$$\begin{aligned} J_1 + J_2 &= o \\ J_3 + J_4 &= o \end{aligned}$$

ebenso

$$\begin{aligned} J_1 w_1 - J_3 w_3 &= o \\ J_2 w_2 - J_4 w_4 &= o \end{aligned}$$

Daraus folgt $\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}$. Ist also $w_3 = w_4$, so ist auch $w_1 = w_2$. Dies ist die Grundlage zu der wohl am häufigsten angewendeten Methode der Widerstandsmessung mit der „Wheatstoneschen Brücke" geworden.

Schon zwei Jahre früher hatte W. Weber[2]) diesen speziellen Fall der Stromverzweigung behandelt und Poggendorff mitgeteilt, ehe die Abhandlung Wheatstones erschien, ohne jedoch diese Kombination zur Messung zu benutzen. Er setzt nicht voraus, daß der Strom in 5 gleich o sein solle, sondern

1) Pogg. Annal. Bd. 62. 1844. pag. 535.
2) Pogg. Annal. Bd. 67 1846. pag. 273.

berechnet die verschiedenen Intensitäten aus den verschiedenen Widerständen, welche mit r_x bezeichnet werden sollen, wenn i_x die entsprechenden Intensitäten; k die elektromotorische Kraft, i die Intensität in dem Bogen, wo E angebracht ist, und r den Widerstand in diesem Teil bezeichnet. Dann ist

$$i = \frac{w}{rw + v} \cdot k$$
$$i_1 = \frac{r_2(r_3 + r_4) + r_5(r_2 + r_4)}{rw + v} \cdot k$$
$$i_2 = \frac{r_4(r_1 + r_3) + r_5(r_3 + r_4)}{rw + v} \cdot k$$
$$i_3 = \frac{r_1(r_2 + r_4) + r_5(r_1 + r_2)}{r \cdot w + v} \cdot k$$
$$i_4 = \frac{r_2(r_1 + r_3) + r_5(r_1 + r_2)}{rw + v} \cdot k$$
$$i_5 = \frac{r_3 \cdot r_2 - r_4 \cdot r_1}{rw + v} \cdot k,$$

wo $w = (r_2 + r_4)(r_1 + r_3) + r_5(r_1 + r_2 + r_3 + r_4)$ und
$v = r_1 r_3 (r_2 + r_4) + r_2 r_4 (r_1 + r_2) + r_5 (r_1 + r_2)(r_3 + r_4)$ ist.

Wir sehen, der Wert für i_5 gleich o gesetzt, ergiebt die obige Kirchhoffsche Bedingung $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$. Durch Messungen an dieser Kombination bestätigten Weber, sowie Poggendorff die Richtigkeit der Formeln, die auch an und für sich richtig sind, wenn das Ohmsche Gesetz richtig ist. Der Vorzug der Kirchhoffschen Methode liegt auf der Hand, sie wird daher allgemein angewendet.

In einer folgenden Arbeit[1]) untersucht Kirchhoff nun die Strömungsverhältnisse auf einer Scheibe, wenn ein galvanischer Strom hindurch geleitet wird; er läßt die Scheibe durch eine Stanniolplatte, auf einer Glasplatte liegend, repräsentiert sein, den Strom in einem Punkte des Randes eintreten und an einem diametralen Punkte austreten und beobachtet die Ablenkung einer kleinen drahtförmigen Magnetnadel, welche unmittelbar über der Scheibe hing, in verschiedenen Distanzen vom Mittelpunkte der Scheibe. Aus der Annahme, daß die Spannung an den verschiedenen Stellen der Scheibe eine stetige Funktion

1) Pogg. Annal. Bd. 67. pag. 344. 1846.

des Ortes ist, leitet er eine Formel für die Ablenkungen der Nadel ab und findet die beobachteten Werte dieser Ablenkung in guter Übereinstimmung mit den Resultaten der Rechnung.

Die beiden Sätze aus der Anmerkung der ersten Abhandlung geben den Inhalt einer dritten Publikation[1]), indem er diese Sätze jetzt ganz allgemein für n Drähte, die ganz beliebige Figuren bilden können, wenn sie nur nicht in zwei voneinander getrennte Systeme zerfallen, ausspricht und behandelt, sodaß für jeden durch beliebig viele von den n Drähten gebildeten Kreis der Satz 2), für jeden Knotenpunkt von Drähten der Satz 1) gilt. Stellt man dann diese Gleichungen auf, so lassen sich die Auflösungen in einer allgemeinen Form geben. Bezeichnet n die Anzahl der Drähte, m die der Knotenpunkte und ist $\mu = n - m + 1$, so ist der Nenner aller Größen J die Summe derjenigen Kombinationen von w_1 .. bis w_n zu je μ Elementen, daß nach Fortnahme der zu den w_1 .. bis w_n in einem geschlossenen Kreise gehörigen Drähte $k_1 \ldots k_\mu$ keine geschlossene Figur übrig bleibt; der Zähler der J_λ ist die Summe derjenigen Kombinationen zu $\mu - 1$ Elementen aus den w, welche so gewählt sind, daß, wenn die Träger der w, d. h. die $k_1 \ldots k_{\mu-1}$ herausgenommen werden, eine geschlossene Figur übrig bleibt, in welcher der Draht k_λ vorkommt, jede Kombination multipliziert mit der Summe der elektromotorischen Kräfte, welche sich auf der zugehörigen geschlossenen Figur befinden, welche in gleichem Sinne wie J_λ positiv zu zählen sind. Von diesem allgemeinen Satz ist die obige Wheatstonesche Kombination ein spezieller Fall; man kann sich aber an ihr, da sie leicht übersichtlich ist, den Sinn dieser allgemeinen Sätze klar machen.

268. Diese Sätze gelten zunächst nur für lineare Leiter, diese giebt es in der Natur nicht oder doch nur angenähert; es bleibt also noch die wichtige Untersuchung, ob denn für beliebig gestaltete Leiter die Kirchhoffschen Sätze auch noch gültig sind. Er selbst beantwortet diese Frage in einer meisterhaften Abhandlung[2]), von der ich nur bedauere, sie nicht ganz

---

1) Pogg. Annal. Bd. 72. pag. 497. 1847.

2) Pogg. Annal. Bd. 75. pag. 189. 1848.

hierher setzen zu können. Kirchhoff geht aus von einem System von Körpern, welche sich berühren und durch ihre Berührung galvanische Ströme erzeugen, dann hat nach Ohm jeder Punkt eines Körpers eine bestimmte Spannung u. Nehme ich eine Fläche von konstantem u in dem Körper und bezeichne ein Flächenelement dieser Fläche mit $d\omega$ die Normale dazu mit N und mit k die Leitungsfähigkeit, so fließt in der Zeit 1 durch $d\omega$ die Elektrizitätsmenge

$$= - k\, d\omega \frac{du}{dN}.$$

Die Elektrizitätsmenge, welche nun durch die Oberfläche eines Körpers in das Innere strömt, muß bei dieser Anordnung $= o$ sein, also $\int d\omega \frac{du}{dN}$ über die Oberfläche ausgedehnt $= o$. Dies Oberflächenintegral ist aber $= - \int dx \,.\, dy \,.\, dz \,.\, \delta u$ nach Gauß' Lehrsätzen, (unter δu ist der Laplacesche Ausdruck verstanden), d. h. es muß

$$1)\quad \delta u = o$$

sein. Wenn keine Elektrizität in die Luft von der Oberfläche ausströmt, so muß für die gesamte Oberfläche

$$2)\quad \frac{du}{dN} = o$$

sein; endlich muß an einer Grenzfläche nach beiden Richtungen gleich viel Elektrizität strömen, d. h.

$$3)\quad k \frac{du}{dN} + k' \frac{du_1}{dN_1} = o,$$

wenn die entsprechenden Größen für den zweiten Körper durch einen Strich angedeutet sind, und endlich muß

$$4)\quad u - u' = U$$

die konstante Spannungsdifferenz an der Berührungsstelle repräsentieren. Durch diese vier Gleichungen ist $u - u'$ so bestimmt, daß es einen konstanten Wert in den Körpern hat, daß es also nur eine Art Stromverbindung giebt, welche den vier Gleichungen genügt.

Sei ferner ein System von Leitern so durch zwei Querschnitte in zwei Teile zerlegt, daß in dem einen, A, die verschiedenen Leiter hintereinander liegend sich berühren, sodaß an einer Berührungsfläche immer nur zwei Körper zusammen-

stoßen, so läßt sich, ohne die Strömung an irgend einer Stelle in dem zweiten Teile zu ändern, für A immer ein linearer Leiter substituieren, dessen Widerstand nur abhängt von der Gestalt und der Leitungsfähigkeit der Körper in A, und in welchem eine elektromotorische Kraft sich befindet = der Summe der in A auftretenden Spannungsdifferenzen. Damit ist gezeigt, daß die für lineare Leiter abgeleiteten Ausdrücke auch stets gelten für Leiter, welche wie A zusammengesetzt sind. Endlich zeigt Kirchhoff auch, daß für solche Leiter, wie A, das Joulesche Gesetz für Erwärmung eines linearen Leiters durch den Strom gültig ist.

Es mag hier noch zum Abschluß dieser Kirchhoffschen Arbeiten darauf aufmerksam gemacht werden, daß sie abgeleitet sind aus der Ohmschen Theorie. Kirchhoff behält Ohms Bezeichnung Spannung bei, versteht darunter aber nicht das, was Ohm darunter verstand. Bei Ohm ist Spannung = Dichtigkeit; das ist nicht richtig. Kirchhoff faßt u als Potential auf, wie es richtig ist. Auf die Art, wie Kirchhoff das Joulesche Gesetz für körperliche Leiter beweist, kann ich des Raumes wegen nicht näher eingehen.

269. Als ein vorzügliches Beispiel der Stromverzweigung in Flächen mußte selbstverständlich die Erscheinung der Nobilischen[1]) Farbenringe gelten. Bei diesen geht ja der Strom aus einer Spitze in die auf leitender Platte liegende Flüssigkeitsschicht. E. Becquerel der jüngere hatte nun vorausgesetzt, daß die Strömungskurven gerade Linien von der Spitze aus seien und E. du Bois-Reymond[2]) hatte angenommen, die Flächen gleicher Spannung, d. h. die isoelektrischen Flächen seien als konzentrische Kugelschalen um die Spitze gelagert, dabei dann vorausgesetzt, die Dicke der Schicht sei klein gegen die Ausdehnung auf der Platte. Bequerel[3]) leitete, wie früher erwähnt, daraus ab, daß die Dicken der niedergeschlagenen Schichten umgekehrt proportional den Entfernungen seien, du Bois-Reymond, dass sie umgekehrt proportional den Kuben ihrer

1) cfr. pag. 249.
2) Pogg. Annal. Bd. 71. pag. 71. 1847.
3) Annal. de Chim. et de Phys. S. III. Bd. 13. pag. 342. 1845.

Entfernungen von der Spitze seien. Riemann[1]) zeigte aber, daß beides nicht richtig sei, daß vielmehr, wenn α die Höhe der Einströmungsspitze über der Metallplatte sei und r die Entfernung des betrachteten Punktes von dieser Einströmungsstelle bedeute, die Dicke ($\triangle$) der Schichten mit wachsendem r/a abnimmt wie eine Potenz mit dem Exponenten $\frac{r}{\alpha}$, d. h. $\triangle = \frac{\text{const.}}{c^{\frac{r}{a}}}$; wo c eine von der Flüssigkeit abhängige Konstante bedeutet. Die Reymondsche Abhängigkeit ist nur in speziellen Fällen richtig. Die Strömungslinien erweisen sich aber nicht als gerade Linien. Beetz hat Messungen vorgenommen, welche sich der Reymondschen Gleichung nahezu, der Riemannschen ganz anschließen.

270. Als ein vorzügliches Beispiel für die Anwendung der Potentialtheorie in Verbindung mit den Kirchhoffschen Sätzen will ich von all den vielen zu Gebote stehenden, indem ich nur auf die von Helmholtz in seiner vielverbreiteten Schrift „über das Gesetz der Erhaltung der Kraft“ gegebenen Beispiele hinweise, die Abhandlung von Clausius hier besprechen (vgl. pag. 333). Clausius stellt sich in einer ersten Arbeit[2]) das Problem, die Anordnung der Elektrizität auf einer dünnen Platte und auf den beiden Belegungen einer Franklinschen Tafel zu finden, was schon Murphy für eine Kreisfläche gelöst hatte. Clausius nimmt eine elliptische Fläche. Ausgehend von der durch Poisson bestimmten bekannten Verbreitung der Elektrizität auf einem Ellipsoid, findet Clausius durch Projektion auf eine Ebene die elektrische Dichtigkeit auf einer mit der Elektrizitätsmenge Q versehenen elliptischen Ebene. Daß diese die richtige sei, erweist er dann durch Anwendung der Greenschen Methode unter geringen Abweichungen von der Murphyschen Behandlungsweise, jedoch ohne letztere zu kennen. Dann wendet Clausius sich zur Franklinschen Tafel, wo der Abstand der beiden Belegungen $= c$ sein möge. Er entwickelt die Potentialfunktion der Belegung 1 auf sich selbst und auf die Belegung 2 nach

1) Pogg. Annal. Bd. 95. 1855. Gesammelte Werke pag. 54.
2) Pogg. Annal. Bd. 86. pag. 161. 1852.

steigenden Potenzen von c, und führt dadurch die Dichtigkeitsfunktion auf ein vollständiges elliptisches Integral zweiter Gattung zurück. Dies Integral wird für einen Punkt am Rande der Belegung = 1 und es ist dann die Möglichkeit gegeben, die Potentialfunktion auszurechnen unter Vernachlässigung der Glieder, welche eine höhere als die erste Potenz von c enthalten.

Für zwei bestimmte Fälle giebt Clausius dann die Ausrechnung, nämlich erstens sei die mitgeteilte Elektrizitätsmenge Q bekannt, und zweitens der Zustand der die Platten ladenden Konduktoren bekannt. Alles dies bezieht sich auf den Fall, daß auf beiden Platten gleiche Mengen entgegengesetzter Elektrizität vorhanden sind. Wenn man dann den Fall betrachtet, daß auf beiden Platten gleiche gleichartige Mengen vorhanden sind, so kann man durch Kombination dieser beiden Fälle jeden anderen ableiten. Nennt man nun die auf den beiden Platten vorhandenen Elektrizitätsmengen M und N, und die für die beiden Platten geltenden Potentialfunktionen F und G, so findet Clausius die Bedingungsgleichung

$$F - G = -\frac{4\pi c}{s} \cdot \frac{M-N}{2},$$

wo s der Flächeninhalt einer Platte ist, bei Vernachlässigung der höheren Potenzen von c. Ist die Dicke der Platte wie bei den Leydener Flaschen nicht konstant, so ist zu setzen

$$F - G = -\frac{k}{s} \cdot \frac{M-N}{2},$$

wo k eine für die Flasche konstante Größe ist. Für den experimentell gewöhnlichen Fall, daß eine Platte zur Erde abgeleitet ist, daß also $G = 0$ ist, sind die Formeln streng richtig.

271. In zwei folgenden Arbeiten behandelt Clausius das mechanische Äquivalent einer elektrischen Entladung und die dabei stattfindende Erwärmung eines Drahtes[1]). Er findet, wenn unter Potential der Ausdruck $\frac{m \cdot \mu}{\varrho}$, wo m und μ die Massen zweier Punkte in der Entfernung ϱ sind, verstanden wird, daß die Arbeit, welche die Elektrizität bei einer Änderung

1) Pogg. Annal. Bd. 86. pag. 337. 1852.

ihrer Anordnung leistet, unabhängig ist von der Art dieser Änderung, nur abhängig von dem Anfangs- und Endzustande, und daß sie gemessen wird durch die Zunahme des Potentials der gesamten Elektrizität auf sich selbst. Äußert sich nun die Arbeit als Erwärmung und mechanische Wirkung (Zerreißung etc.), so ist die Summe aller Wirkungen einer solchen Entladung ebenfalls gleich der Zunahme des Potentials. Ist das eine also gegeben, so kann man das andere berechnen. Angewandt auf eine Leydener Flasche und eine Kaskadenbatterie findet Clausius dann die von Rieß beobachteten Werte bestätigt.

Analog wendet Clausius diese Methode unter Voraussetzung der Kirchhoffschen Sätze auf den galvanischen Strom an.[1]) Der dem obigen entsprechende Satz lautet hier: „Die bei einer bestimmten Bewegung einer Elektrizitätsmenge von der im Leiter wirksamen Kraft gethane Arbeit ist gleich der bei der Bewegung eingetretenen Zunahme des Potentials dieser Elektrizitätsmenge und der freien Elektrizitätsmenge aufeinander.“[2]) Durch Anwendung dieses Satzes gelangt Clausius zu den beiden wichtigen Gleichungen; die gethane Arbeit ist:

$$1)\quad W = l \,.\, J^2$$

und die erzeugte Wärme ist

$$2)\quad H = A \,.\, l \,.\, J^2,$$

wenn in beiden Gleichungen l der Widerstand des zwischen den beiden Punkten betrachteten Leitungsstückes ist, J die Intensität des Stromes, d. h. die in der Zeit 1 durch den Querschnitt strömende Elektrizitätsmenge und A eine Konstante bedeutet. Die Gleichung 2) repräsentiert das von Joule gefundene, von Lenz und Becquerel bestätigte Gesetz.

272. Die Kirchhoffschen Sätze sind später von Helmholtz[3]) erweitert und sprechen sich dann so aus: Bei mehreren elektromotorischen Kräften in einem Leiterkreise ist das Potential an jedem Punkte des Kreises gleich der Summe der durch die einzelnen elektromotorischen Kräfte bedingten Potentiale. — Sind

1) Pogg. Annal. Bd. 87. pag. 415. 1852.
2) Vergl. die Riemannsche Definition pag. 337.
3) Pogg. Annal. Bd. 89. pag. 211 und 353. 1853.

im Innern eines Leiters A elektromotorische Kräfte vorhanden, so lassen sich an der Oberfläche elektromotorische Kräfte annehmen, welche in einem berührenden Leiter dieselbe Strömung hervorrufen, wie die inneren Kräfte. — Tritt an einer Berührungsfläche zweier Leiter eine elektromotorische Kraft auf, so ist dieselbe gleich der Differenz der Potentiale an beiden Seiten der Fläche. — Erteilt man in einem Leiterkreise, in welchem sonst keine elektromotorischen Kräfte wirken, zweien Flächenelementen a und b nacheinander die gleiche elektromotorische Kraft, so fließt im ersten durch b dieselbe Elektrizitätsmenge wie im zweiten durch a.

Bei den verschiedenen Berechnungen der Verteilung der Elektrizität und ihrer Strömung sind diese Sätze oft angewendet, daher mögen sie hier Platz finden, zumal die Beweise der Sätze vorzügliche Beispiele sind, wie mit Hilfe der Kirchhoffschen Gleichungen unter Anwendung der Potentialtheorie auch schwierige Probleme der Stromverteilung zu lösen sind. Ich habe mir erlaubt, die Sätze etwas zu kürzen in der Ausdrucksweise, ihren Sinn aber nicht geändert. Der erste Satz ist für lineare Leiter direkt in Kirchhoffs Formeln enthalten, für körperliche Leiter sprach ihn zuerst Smaasen[1]) aus, doch ohne Beweis und er gilt wörtlich so auch für die Komponenten der Stromintensität. In Bezug auf den zweiten Satz ist noch zuzufügen, daß die Verteilung auf der Oberfläche verschieden sein kann, daß sich aber die verschiedenen Verteilungen nur durch eine in allen Punkten der Oberfläche gleiche Konstante unterscheiden können. Aus diesem Satze folgt ferner ganz allgemein, daß sich für jeden körperlichen Leiter, in welchem elektromotorische Kräfte auftreten und der an zwei Stellen mit beliebig vielen linearen Leitern verbunden ist, ein linearer Leiter von konstantem Widerstande und bestimmten elektromotorischen Kräften substituieren läßt. Von Kirchhoff war das, wie angegeben, nur für einen Leiter von der Form A nachgewiesen. Der vierte Satz wird mit Hilfe des Greenschen Satzes bewiesen.

Helmholtz prüfte seine Resultate experimentell, indem er als körperlichen Leiter einen soliden Cylinder aus Bunsenscher

1) Pogg. Annal. Bd. 69. pag. 161. 1846.

Kohle wählte und fand die Beobachtung von der Rechnung differierend um weniger als $^{1}/_{500}$ der gemessenen Größen, eine Übereinstimmung, die in der That völlig genügt. Endlich giebt Helmholtz von seinen Sätzen eine Anwendung auf tierische Elektrizität. Diese war einige Jahre früher von Du Bois-Reymond eingehend untersucht und ist es zunächst unsere Pflicht, hierauf einzugehen.

Zehntes Kapitel.

Tierische Elektrizität.

273. Wir haben die Untersuchungen über tierische Elektrizität verlassen bei Pfaffs Arbeiten; daran knüpft sich aber eine fortlaufende Untersuchung über elektrische Strömungen im Nerven- und Muskelsystem und die Lehre von der Gleichartigkeit der Nerventhätigkeit und elektrischer Erregung hat weiter gespukt, ich möchte sagen bis auf den heutigen Tag. Selbst ein Fechner konnte sich ihr nicht ganz entziehen. Man meinte, die Nerven seien von isolierenden Hüllen umgeben und selbst gute Leiter für Elektrizität; dann sollte bei einzelnen Forschern der Lebensprozeß darin begründet sein, daß vom Gehirn respective Rückenmark ein kontinuierlicher Strom nach den Nervenenden hingeführt werde, ja dieser Strom sollte sogar die Kraft haben, Stahlnadeln zu magnetisieren. Es hat ein wesentlich physiologisches Interesse, diese verschiedenen Irrgänge weiter zu verfolgen, wir können daher hier nicht darauf eingehen; ich verweise in Bezug darauf auf die historischen Kapitel in Du Bois tierischer Elektrizität [1]). Daß die Magnetisierung von Stahlnadeln, die in einen lebenden tierischen Organismus gesenkt waren, nicht eintrat, zeigte Joh. Müller; andere zeigten die Unhaltbarkeit all der anderen Behauptungen. Nur zweier Männer müssen wir vor Du Bois-Reymond noch gedenken, da auf ihren Arbeiten jener Gelehrte fortbauen konnte.

274. Nobili wandte seinen verbesserten Multiplikator, von dem ich oben (pag. 248) berichtet habe, an, um in den

1) Untersuchungen über tierische Elektrizität. 2 Bände. Berlin 1848 und 1849.

Nerven der Tiere den von anderen behaupteten Nervenstrom zu entdecken. Schon vor ihm waren 1823 Prévost und Dumas[1]) mit einem gewöhnlichen Multiplikator an diese Untersuchung herangetreten, die aber so wenig sorgfältig angestellt waren, daß Du Bois-Reymond nur ein einziges Resultat als richtig anerkennt, daß sie nämlich einen Strom nicht gesehen haben. Der Nobilische Apparat war so empfindlich, daß er, wenn die Drahtenden mit $^1/_3$ Linien dicken Zink- und Kupferdrähten, die durch eine feuchte Baumwollenschnur verbunden waren, in Verbindung gebracht wurden, eine Ablenkung von 9—12° zeigte. Er setzte die in Platindrähten endenden Drahtenden des Multiplikatorgewindes in die verschiedenen Teile der Nerven ein, aber eine Ablenkung ergab sich nicht; daraus schließt er, daß entweder ein Nervenstrom überhaupt nicht existiere, oder doch schwächer sei, wie der geringe Strom jenes Kupfer-Zinkelementes, d. h. sicherlich nicht stark genug, um bei dem Lebens- und Bewegungsprozeß des tierischen Organismus irgend eine hervorragende Rolle zu spielen. So oft auch diese Versuche wiederholt wurden, sie endeten stets mit negativem Resultat. Im Jahre 1827 jedoch, als Nobili[2]) die ersten galvanischen Versuche wiederholte und die Zuckungen eines präparierten Froschschenkels sah, dessen beide Enden in zwei Wassergläser tauchten, die durch einen Baumwollenfaden verbunden waren, versuchte er diesen letzteren durch die Drahtrolle seines verbesserten Multiplikators zu ersetzen und fand hier in der That eine momentane Ablenkung bis zu 30° und bei einzelnen Froschschenkeln eine konstante Ablenkung bis 11°, konstant während mehrerer Stunden. Nobili erklärt diese durch thermoelektrische Ströme, hervorgerufen durch die verschieden starke Abkühlung der Nerven und Muskeln. Die Richtung des Stromes war stets von den Muskeln zu den Nerven, oder vom Fuß zum Kopf des Frosches. Nobili nennt denselben „la corrente propria della rana". Du Bois-Reymond führt hierfür den Namen „Froschstrom" ein.

---

1) Untersuchungen über tierische Elektrizität. II. pag. 224.

2) Annal. de Chimie et de Physique. T. 38. p. 225. 1828 und T. 44. pag. 60. 1830.

Es sei noch erwähnt, daß der Franzose Person 1830 darauf hinwies[1]), daß die Nichterkennung eines Nervenstromes vielleicht daran liege, daß die Ströme von zu kurzer Dauer seien. Besonders wertvoll ist an seiner Untersuchung, daß er die Leitungsfähigkeit der Nerven als bedeutend schlechter wie die der Metalle und nicht besser als die der anderen flüssigen, respektive feuchten Bestandteile des Körpers nachweist; ein Resultat, welches besonders ausführlich von Eduard Weber[2]) abgeleitet ist, der die Leitungsfähigkeit etwa gleich der des warmen, salzigen Wassers findet. Sollte demnach die in den Nerven angenommene Strömung einen wesentlichen Anteil an den Lebensprozeß haben, so müßte die elektromotorische Kraft dieser Ströme ganz erheblich groß sein.

275. Ein Jahr vor Nobilis Tode trat dann ein Landsmann von ihm mit genau entgegengesetzten Anschauungen auf. So recht im Sinne vieler Zeitgenossen soll bei Matteucci die Elektrizität überall im tierischen Organismus wirken, aber einen Nervenstrom am Multiplikator nachzuweisen gelingt ihm geradeso wenig wie den andern. Aus dem großen Wust phantastischer und teils sehr übereilter Schlüsse hebe ich nur die anerkannt richtigen Sätze heraus, zunächst in Bezug auf den Froschstrom[3]).

Der elektromotorische Vorgang für den Froschstrom ist unabhängig von der Berührung von Muskel- und Nervengewebe außerhalb der Glieder oder ihrer Schließung zu einem Kreise. Der Muskel ist nicht das negative, der Nerv nicht das positive Element, sondern der Strom zeigt sich ebenso, wenn nur zwei Punkte in der Längsrichtung des Frosches verbunden werden, d. h. wenn die Richtung von dem Gehirn oder Rückenmark nach einem entfernten Teile eines Nerven eingehalten ist.

276. Mit dem Jahre 1841 beginnt Du Bois-Reymond die Untersuchung, deren vorläufige Resultate in einem skizzenhaften „Abriß" 1843 erschienen, die aber in ihrer Vollständigkeit in dem oben citierten Werke zusammengefaßt sind. Ent-

---

1) Du Bois-Reymond, tierische Elektrizität. II. pag. 232.

2) Quaestiones physiologicae de Phaenome. galv. magnet. in Corpore humano observ. 1836.

3) Du Bois-Reymond, tierische Elektrizität. I. pag. 125.

hielte letzteres nichts neues, so wäre es schon wegen der eingehenden Kritik der früheren Arbeiten von hohem Werte. Man muß die vorgängigen Arbeiten lesen, um zu sehen, mit welcher Unkenntnis und Leichtfertigkeit du Bois-Reymond bei seinen Gegnern zu kämpfen hatte; man kann sich in der That oft eines mitleidigen Lächelns kaum erwehren. Ich halte es aber auch für meine Pflicht, bei der großen Wichtigkeit der Arbeit auf die neuen Resultate der Untersuchung einzugehen, obgleich sie wesentlich physiologischer Natur sind.

In voller Kenntnis der physikalischen Gesetze eines Stromes, wie sie von Ohm, Fechner, Poggendorff und anderen ausgebildet waren, macht sich Du Bois-Reymond ans Werk. Bei der Untersuchung können störend besonders Polarisation, Oberflächenungleichheit, thermische und chemische Verschiedenheiten wirken; sie alle sollen vermieden werden. Du Bois-Reymond wendet als Berührungskörper daher ausschließlich Platin an und macht die Oberflächen gleich durch tagelanges Schließen der Metallverbindung in Wasser, sowie durch einen besonderen Reinigungs- und Glühprozeß. Als Beobachtungsapparat wird ein Multiplikator mit vorzüglichem Nadelpaar, dessen Astasie genau geprüft ist, von 4650 Windungen angewendet, oder auch ein „physiologisches Rheoskop“, d. h. ein präparierter Froschschenkelnerv (Nervus ischidiacus), der durch seine Zuckungen das Entstehen eines Stromes verrät, benutzt. Zu dem Zweck wird zunächst das Gesetz der Nervenerregung durch den Strom festgesetzt: „Nicht der absolute Wert der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zugehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Wertes von einem Augenblick zum andern, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so stärker, je schneller sie bei gleicher Größe vor sich gingen, oder je größer sie in der Zeiteinheit waren.“

Die Zuckung tritt also speziell beim Schließen und Öffnen auf und zwar in verschiedener Stärke. Die Zuckung beim Schließen ist stärker für einen Strom vom Hirn-Rückenmarksende zum auslaufenden Ende des Nerven oder nach Pfaffs und Voltas Bezeichnung für einen „absteigenden“ Strom, die Öffnungszuckung ist stärker für einen Strom in entgegengesetzter

[illegible] „aufsteigenden“ Strom. Daraus ergiebt sich [illegible] Parallele mit den später zu behandelnden [illegible]. Dies Gesetz war schon von **Pfaff**[1]) entdeckt, [illegible] ausgebildet. Diese Gesetze gelten nur für die [illegible] Nerven; für die Empfindungen ist ein solches Ver[illegible] bis heute nicht festgestellt, die **Ritter**schen Mei[illegible]ber sind bisher nicht kontrolliert.

[illegible] wendet sich **Du Bois-Reymond** dem Froschstrom [illegible] der ganze Frosch untersucht wird, welcher im Moment [illegible]ung einen aufsteigenden Strom liefert; dadurch werden [illegible]platten mit einer Ladung versehen, die nun einen [illegible]gesetzten Strom liefert, doch kann man den Muskel[illegible] wiederholt zur Erscheinung bringen, solange der Frosch [illegible] nicht in Verwesung übergeht; die Grenze dieses Muskel[illegible] ist die Totenstarre[3]). Dieselbe Stromesrichtung ist beim [illegible]ischen Froschpräparat zu beobachten. Auch zeigt sich das [illegible] nur beim Frosch, sondern bei allen Tieren, speziell den [illegible]tieren. Daneben besteht die von **Donné** zuerst ange[illegible] elektromotorische Erregung zwischen den Säuren und [illegible] alkalisch reagierenden Absonderungswerkzeugen des tieri[illegible] Organismus, welche aber chemischer Natur ist.

Um nun das Gesetz des Muskelstromes herzustellen, bedarf es einiger physiologischer Erklärungen. An einem frei präpa[illegible]rten Muskel unterscheidet man den sehnigen Teil und das rote Fleisch; ersterer ist nur ein kurzer Überzug und endet da, wo sich an denselben die Enden der Primitivmuskelbündel an[illegible]usetzen aufhören. Bezeichnet man dann als „**Querschnitt**“ des Muskels eine solche Flächenbegrenzung desselben, daß darin nur Grundflächen der als Prismen oder Cylinder gedachten Form[illegible]elemente des Muskels enthalten sind, so erscheint der sehnige Überzug nur als ein Überzug über den „natürlichen Querschnitt“; und wenn ein „**Längsschnitt**“ eine solche Flächenbegrenzung an dem Muskel ist, daß darin nur Mantel- oder Seitenflächen der Formelemente desselben enthalten sind, so erscheint die

1) **Pfaff**, über tierische Elektrizität. 1795.
2) **Voigts** Magazin für das Neueste, 1800 und **Ritters** Beiträge etc. —
[illegible]u **Bois-Reymond**, tier. Elektr. II. pag. 159.

Richtung des roten Fleisches als der „natürliche Längsschnitt“ [1]). Durch zahlreiche Versuche stellt Du Bois-Reymond nun folgende Gesetze fest.

„Wird ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels mit einem anderen beliebigen Punkte des natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels in Verbindung gebracht, daß dadurch keine Spannung gesetzt wird, so zeigt eine in den unwirksamen leitenden Bogen eingeschaltete, stromprüfende Vorrichtung einen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes gerichtet ist.“ Schwache Ströme entstehen, wenn statt dieser Punkte zwei Punkte verbunden werden, die a) in demselben Querschnitt oder in zwei Querschnitten ungleich weit vom Mittelpunkte (der Muskel als Cylinder gedacht) liegen in der Richtung vom ferneren durch den schließenden Bogen zum näheren, oder b) wenn zwei Punkte eines Längsschnittes, die von der geometrischen Mitte des Längsschnittes verschieden weit sind, in der Richtung von dem dieser Mitte näheren zu dem entfernteren durch den Bogen.

Nach diesem ist der Froschstrom nichts anderes als die allgebraische Summe der einzelnen Muskelströme. Genau dieselben Gesetze gelten für den wirklich nachweisbaren Nervenstrom [2]), nur daß man hier nicht wohl von einem natürlichen Querschnitte reden kann, wie beim Muskel. Für beide Ströme gilt nun, daß sie durch bestimmte Vorgänge geändert und zwar meist geschwächt werden, beim Muskelstrom durch Bewegungen, beim Nervenstrom durch Reizung der Nerven auf verschiedenste Weise. Damit hängt zusammen die Möglichkeit der Tetanisierung durch künstlich hindurchgeleitete Ströme, die schon Volta, Pfaff und Ritter, besonders auch A. v. Humboldt bei seiner Reise in Südamerika und seinen Experimenten über den Zitteraall beobachtet hatten und die dann von Nobili wiederentdeckt war. Durch Anwendung dieser Gesetze auf die nervenreichen elektrischen Organe der elektrischen Fische erklären sich dann auch die von diesen willkürlich erteilten elektrischen Schläge.

1) Tierische Elektr. II. pag. 501.
2) Tierische Elektr. II. pag. 262.

277. Das elektrische Organ der Fische nimmt Du Bois Reymond ähnlich konstruiert an wie den Muskel, so werden also auch hier fortwährend Ströme kreisen müssen, wie bei den Muskeln und Nerven, welche unter Einfluß der das Organ durchziehenden Nerven vom Gehirn durch einen Willensimpuls entladen würden. Dieser Theorie steht in neuester Zeit die des Franzosen Ranvier gegenüber (1878), welche wir der Vollständigkeit wegen erwähnen, obgleich Du Bois Reymond sie besonders mit anatomischen Gründen bekämpft. Ranvier denkt sich die Ganglienzellen des Gehirns als primäre elektrische Elemente, die Kasten-Organe des elektrischen Organs als sekundäre Elemente, welche durch die Nerven hindurch von jenen primären geladen werden, und für gewöhnlich hintereinander eingeschaltet sind. Soll der Schlag erfolgen, so hat der Fisch die (mysteriöse) Fähigkeit, diese Kastenelemente nebeneinander einzuschalten und erzielt dadurch eine hohe Spannung. Man kann letztere Ansicht nicht ohne weiteres absprechen, da z. B. auch die allmähliche Schwächung des Tieres für elektrische Schläge nach mehreren vorhergehenden sich gut durch sie erklärt. Allein es sind doch manche Schwierigkeiten zu überwinden, besonders der absolute Mangel irgend eines Isolators im tierischen Organismus; doch trifft der in gewisser Weise auch die Du Bois-Reymondsche Vorstellung.

278. Die physikalisch-theoretisch wichtige Frage, wie erklären sich diese Ströme im Muskel und im Nerven, ist es nun, wo Helmholtz in der oben citierten Abhandlung Du Bois-Reymond ergänzt. Du Bois-Reymond geht von den Primitivmuskelfasern, den kleinsten auf mechanische Weise erreichbaren Muskelteilen, zu noch kleineren hypothetischen elektromotorischen Elementen über, die peripolar gedacht werden, d. h. sodaß auf der Oberfläche eine derartige Verteilung substituiert werden kann, daß die Pole beide negativ, der Aequator positiv ist. Mit dieser Annahme erklären sich die oben angegebenen starken Ströme direkt, die schwachen in einem Querschnitt oder einem Längsschnitt aufgefundenen aber nicht, wenn man nicht Grenzfälle zu Hilfe nimmt. Es ist daher die Theorie dieser letzteren nicht ohne weiteres als gelöst durch jene Annahme zu betrachten. Interessant aber ist dabei, daß

die künstliche cylindrische Rekonstruktion eines Muskels durch Du Bois-Reymond mittels Kupfer-Zinkkombination in Schwefelsäure dieselben Ausnahmefälle darbietet.

Ein weiteres Eingehen auf die umfangreiche Arbeit Du Bois-Reymonds liegt außerhalb des Rahmens dieser Darstellung, es sei nur auf dies glänzende Resultat deutscher Arbeit und genauer Forschung hingewiesen, um möglichst viele zu veranlassen, das Werk ganz zu genießen.

Elftes Kapitel.

Elektrische Meßapparate.

279. Diese Untersuchungen, sowie die vorher angeführten, setzten nun eine Ausbildung der Meßwerkzeuge voraus, wie sie früher nicht gekannt war, und die wir ohne den Gang der historischen Entwicklung zu trüben, nicht wohl eher unterbringen konnten. Es erübrigt hierauf einen Blick zu werfen, um die verschiedenen Meßmethoden zu besprechen, ehe wir zum Abschnitt der Induktion gelangen können.

Zunächst sei unsere Aufmerksamkeit den Meßapparaten für Elektrostatik zugewendet, welche besonders für Untersuchungen der Potentiale geeignet erscheinen. In die frühere Art der Messung an Elektroskopen, hätten wir erwartet, ein neues Leben fahren zu sehen durch die Coulombschen Messungen mit der Drehwage, allein viele Jahrzehnte vergingen, ehe ein auf das Coulombsche Prinzip gegründetes Elektrometer konstruiert wurde, welches leistungsfähig genug war, mit einzelnen Abänderungen noch bis heute das Fundament für derartige Untersuchungen zu bilden, ich meine das Dellmannsche Elektrometer.

Die ersten Anfänge zu dieser Arbeit finde ich in einer kleinen Abhandlung aus dem Jahre 1841.[1]) Dellmann hatte da den Wunsch, die Coulombsche Drehwage als Elektroskop verwendbar zu machen, und stellte deswegen die Drehwage mit äußerst beweglichem, leichtem Balken und sehr kleiner

1) Pogg. Annal. Bd. 53. 1841. pag. 606.

Hollundermarkkugel her, wobei der Zuleiter zur Standkugel aus Metall gefertigt war und seitlich eingeführt wurde. Beim Beginn der Beobachtung berührte die Kugel des Wagebalkens die Standkugel. Als Elektroskop zeigte sich der Apparat wohl empfindlich, doch ist es von dem Coulombschen Elektroskop nur sehr wenig verschieden (cfr. p. 109).

Einen wesentlichen Fortschritt sehen wir bei Oerstedt[1], welcher schon im Jahre 1840 nach dem Prinzip der Coulombschen Drehwage ein Elektrometer konstruiert hatte. Dasselbe bestand aus einem am Kokonfaden hängenden horizontalen Messingdraht, dessen Einstellung aber nicht allein der Torsionskraft des Fadens überlassen war, sondern die Aufhängung am Faden war dadurch bewerkstelligt, daß ein kurzer, in der Mitte nach oben zu eingeknickter Eisendraht in seiner Mitte angelötet war; an diesen Eisenbügel war der Faden gebunden. War nun der Magnetismus dieses Eisenbügels sehr gering, so war auch die Direktionskraft, mit welcher er sich und den Messingdrahtbalken in den magnetischen Meridian stellte, eine kleine, aber doch ausreichend, um diese Richtung als Ruhelage stets zu fixieren. Der Kokonfaden wurde oben gehalten durch einen kleinen Stift, welcher in einer vertikalen Messingröhre saß, die, isoliert durch eine Glasröhre, durch den Deckel des unten geschlossenen großen Glascylinders, in dessen Innerem der Wagebalken sich befand, ragte und an ihrem Kopfe eine Kondensatorplatte trug, während sie am unteren Ende zwei sich gegenüberstehende, seitwärts ausgebogene Messingbügel trug, die soweit in den Glascylinder hineinragten, daß ihre Enden gerade an den Enden des Messingbalkens in der Ruhelage anlagen. Teilt man nun der Kondensatorplatte Elektrizität mit, so verbreitet sich diese durch die Messingröhre auf die angesetzten Messingarme und von da durch Kontakt auf den Wagebalken, dessen Enden werden also abgestoßen von den beiden Armen des feststehenden Messingbügels und die Größe des Ablenkungswinkels wird auf geeignete Weise gemessen, entweder durch Visieren mit dem bloßen Auge, oder durch ein Fernrohr, welches an einem in der Mitte des Bodens

1) Pogg. Annal. Bd. 53. 1841. pag. 612.

angebrachten Arme drehbar ist, auf die Richtung des Wagebalkens eingestellt wird und so die Messung des Ablenkungswinkels ermöglicht.

280. Ich habe dies Elektrometer so ausführlich beschrieben, obwohl es sich nicht eingebürgert hat, weil Dellmann selbst sagt, daß er seine weitere Verbesserung hierauf gegründet hat. Das Oerstedtsche Elektrometer ist übrigens auch nicht unvermittelt erfunden. Der Erste, welcher die Richtkraft eines kleinen Magneten benutzte, war Peltier.[1]) Er ließ den mit dem Magneten versehenen Wagebalken auf einer Spitze sich bewegen und benutzte als ablenkenden Konduktor einen horizontalen Draht, dem er die Elektrizität mitteilte, dieser wirkte nur auf die eine Hälfte des Wagebalkens.

Dellmann[2]) benutzte nun nicht die Richtkraft eines Magneten, sondern ließ den Wagebalken nur durch die Torsion des Kokonfadens gerichtet werden, auch nahm er nicht den Zuleiter Oerstedts, sondern brachte unter dem Wagebalken einen horizontalen Messingdraht an. Der Wagebalken war in der Mitte etwas eingebogen, sodaß er sich ganz an den unteren Messingdraht anlegen konnte. Dem unteren Messingdraht konnte Elektrizität durch einen Leitungsdraht mitgeteilt werden, dann erfolgte die Ablenkung. So war in dieser ersten Fassung der Dellmannsche Apparat auch nur ein Elektroskop, doch sprach der Erfinder gleich die Hoffnung aus, daß diese Methode zu einem Elektrometer führen werde.

281. Diese Hoffnung realisierte Kohlrausch[3]), der dem Apparat die Gestalt gab, daß derselbe in der That zu Messungen geeignet wurde. Er acceptiert zunächst eine Änderung, die Romershausen[4]) an dem Apparat anbrachte, er ersetzt den geraden Messingdraht, an welchen sich der Wagebalken anlegen soll, durch einen glatten Streifen, der in der Mitte ausgeschnitten ist, sodaß der Wagebalken nun gerade sein kann und sich doch an den Streifen anlegt. Diesen geraden Wagebalken befestigt Kohlrausch zunächst an einem Schellack-

1) Annal de Chimie et de Phys. T. 62. pag. 422.
2) Pogg. Annal. Bd. 55. 1842. pag. 301; Bd. 58. 1843. pag. 49.
3) Pogg. Annal Bd. 72. 1847. pag. 355.
4) Pogg. Annal. Bd. 69. 1846. pag. 71.

faden und an diesen an Stelle des Kokonfadens einen dünnen Glasfaden, der besonders um deswillen geeigneter ist, wie der Kokonfaden, weil seine Torsionskraft größer und die elastische Nachwirkung desselben geringer ist, wie bei jenem. Der Glasfaden geht durch eine auf den Deckel des Instrumentes gesetzte Glasröhre in eine starke Eisenschraube, welche auf dem oberen Ende der Glasröhre ruht und hier auf einem geteilten Kreise, durch einen seitlich angebrachten Zeiger, nach Art der Coulombschen Drehwage, dem Faden einen bestimmten Torsionswinkel zu geben gestattet. Gleichzeitig ist bei dieser Art der Befestigung die Möglichkeit gegeben, den Wagebalken zu heben und zu senken, d. h. denselben mit dem darunter befindlichen Streifchen in Berührung zu bringen oder ihn frei schweben zu lassen. Unter dem Streifchen befindet sich eine zweite Kreisteilung, welche die Ablenkung des Wagebalkens zu beobachten gestattet. Das Streifchen kann durch einen isoliert durch den Boden des Gefäßes gehenden Leitungsdraht, der durch einen seitlich angebrachten Hebel luftdicht auf und nieder bewegt werden kann, mit irgend welcher Elektrizität geladen werden. Der Apparat muß luftdicht gearbeitet sein, um im Innern Luftströmungen zu vermeiden. Um der Luft die Feuchtigkeit zu nehmen, bringt Kohlrausch am Boden des Gefäßes eine Rinne mit koncentrierter Schwefelsäure gefüllt an. Die gläserne Seitenwand beseitigt er gleichfalls und ersetzt sie durch eine starke Metallwandung, welche am oberen Ende durch eine planparallele Glasplatte geschlossen ist, durch diese beobachtet man mittels einer schwachen Linse die Einstellung des Wagebalkens. So ist an dem Kohlrauschschen Elektrometer kaum das ursprüngliche Dellmannsche wieder zu erkennen und nur die Entstehungsgeschichte dieses Elektrometers rechtfertigt seinen Namen als das Dellmannsche.

Dellmann[1]) selbst acceptierte sämtliche Verbesserungen von Kohlrausch, nur daß er denselben noch zufügte einen bequemen Ladungsapparat, bestehend aus einem Hebelarm, der dem unteren Zuleitungsdraht angelegt und wieder von ihm entfernt werden kann, sowie durch eine passende Vor-

1) Pogg. Annal. Bd. 86. 1852. pag. 524.

richtung zum Heben und Senken des Wagebalkens. Und während Kohlrausch den ganzen Apparat durch drei Stellschrauben auf einem festen Eisenfuß horizontal stellt, läßt Dellmann den Apparat durch einen überstehenden Rand auf einem Eisenring ruhen, der drei Füße hat, die durch Stellschrauben geendigt sind, wodurch ebenfalls horizontale Stellung des Apparates erreicht werden kann.

Mit diesem Apparat führte Kohlrausch[1]) seine berühmten, bereits erwähnten Versuche zur Prüfung des Ohmschen Gesetzes und zur Bestätigung der Kirchhoffschen Sätze über Stromverzweigung aus, unter Zuhilfenahme eines Kondensators. Dellmann gebrauchte dasselbe in erster Linie zur Bestimmung der Luftelektrizität, wobei er wesentlich die Resultate fand, daß die Luft stets elektrisch sei, die Schwankungen derselben von der Nebel- und Wolkenbildung, sowie Windrichtung abhängen, wie seiner Zeit auseinandergesetzt ist.

Über die Methode der Ladung des Wagebalkens sagt Kohlrausch, daß es sich wegen der größeren Konstanz der Ablenkung empfehle, denselben nicht durch Anlegen an das Streifchen zu laden, sondern durch Auflegen auf den mittleren Ausschnitt des Streifens unter einem Winkel von 90° zum Streifen.

Die Theorie des Elektrometers wurde später von Roeber[2]) gegeben für den Fall, daß der Wagebalken und die Streifen bestimmbare geometrische Formen haben, z. B. wenn beide ohne große Fehler als gerade Linien gedacht werden können, er berechnet das durch die elektrische Abstoßung ausgeübte Drehungsmoment des Wagebalkens, dem muß die Torsion des Fadens entgegengesetzt gleich sein, so erhält er für letztere Zahlen, die mit den beobachteten gut stimmen.

282. Im Jahre 1853 adoptierte Kohlrausch[3]) auch zur leichteren Messung, respektive Vergleichung von Elektrizitätsmengen, das Prinzip des Peltierschen Elektroskopes. Er läßt über dem horizontalen Messingbalken, der an die Stelle

1) Pogg. Annal. Bd. 75. 1848. pag. 88 und Bd. 78. 1849. pag. 1.
2) Pogg. Annal. Bd. 89. 1853. pag. 283.
3) Pogg. Annal. Bd. 88. 1853. pag. 497.

des im obigen Apparat beschriebenen Streifens tritt, auf einer Spitze eine Magnetnadel beweglich sein, der Messingbalken wird so eingerichtet, daß er mit seinem Träger um eine vertikale Achse, durch seinen Mittelpunkt gezogen, drehbar ist, am Rande des Gefäßes kann der Winkel an einer Kreisteilung abgelesen werden. Nun stellt man den Apparat so ein, daß der Messingbalken mit der Nadel einen bestimmten Winkel d bildet, teilt demselben eine Elektrizitätsmenge mit, die sich durch die Spitze auf die Nadel verbreitet, dadurch entsteht eine Abstoßung zwischen beiden; nun dreht man den Messingbalken so lange, bis der Winkel d wieder zwischen Nadel und Balken besteht, der Winkel, um welchen man hat drehen müssen, sei φ, bei einer andern Elektrizitätsmenge und demselben Winkel d sei er φ', dann ist das Verhältnis der Elektrizitätsmengen $= \sqrt{\sin\varphi : \sin\varphi'}$. Nimmt man eine der beiden als 1, so ist die Elektrizitätsmenge

$$e = c \,.\, \sqrt{\sin\varphi}\,,$$

wo c für jeden Apparat eine Konstante ist.

Auf demselben Prinzip beruht das Sinuselektrometer von Rieß[1]), welches nur geringe Abänderungen in der Konstruktion enthält.

Auch das alte Behrenssche Elektroskop, wie es von Bohnenberger und Fechner verbessert war, kam um diese Zeit wieder zu Ehren, indem Hankel dasselbe zu einem Elektrometer umgestaltete, 1850. Er ersetzte die Gold-Silberpapiersäule durch eine Voltasche Zink-Kupfer-Wassersäule und verband die einander gegenüberstehenden Platten im Elektroskop mit den Polen dieser Säule. Zwischen den beiden Platten hing ein Goldblatt, dessen Stellung durch ein Fernrohr mit Faden beobachtet wurde; sobald dem Goldblättchen Elektrizität mitgeteilt wurde, erfolgte eine Ablenkung des Goldblattes, deren Größe man messen konnte. Das Goldblättchen stellt sich sofort auf den das neue Gleichgewicht bezeichnenden Punkt, sodaß man sofort ablesen kann und nicht erst Schwingungen zu verrechnen hat. Dies ist sein wesentlicher Vorzug.

In neuerer Zeit sind dann noch andere Elektrometer kon-

1) Pogg. Annal. Bd. 96. 1855. pag. 513.

struiert, besonders von Thomson; doch haben diese jedenfalls nicht den Ruhm der Einfachheit für sich, besonders z. B. das „absolute Elektrometer" von Thomson. Dieselben hier zu beschreiben, reicht der Raum nicht. Ich sehe davon ab, zumal die Apparate alle erst in neuerer Zeit konstruiert sind[1]), und verweise auf die neueren Kompendien.

283. Wir wenden uns nun den strommessenden Apparaten zu. Da haben wir von vornherein zwischen den auf chemischer Aktion beruhenden und den auf der magnetischen Wirkung des Stromes basierten zu unterscheiden. Obwohl nun erstere die früher konstruierten sind, so ziehe ich es doch vor, die zweiten zuerst zu nehmen, weil das Verständnis der definitiven Messungen durch chemische Aktion schließlich wesentlich gefördert wird durch die Bekanntschaft mit dem magnetischen Maße.

Es ist klar, daß sofort nach der Oerstedtschen Entdeckung der Ablenkung einer Nadel durch einen Strom, der größere oder geringere Ausschlag der Nadel eine Vergleichung über die Stärke des Stromes zuließ, allein von einer Messung ist da noch nicht die Rede. Selbst Poggendorff kommt mit seinem Multiplikator nicht weiter, als daß die Stärke des Stromes dem Ausschlage der Nadel proportional gesetzt wurde. Auch Fechner wendet keine anderen Meßapparate als empfindliche Multiplikatoren an. Die Einführung der astatischen Nadeln durch Ampère und Nobili führt auch noch nicht direkt zu einem feineren Meßapparat; selbst die von Poggendorff[2]) erfundene Spiegelablesung blieb zunächst nur angewandt auf die Beobachtung der magnetischen Deklination und deren Variationen. Übrigens sei hierbei erwähnt, daß die Poggendorffsche Spiegelablesung ursprünglich in etwas anderer Weise vorgeschlagen wurde, wie wir sie heute anzuwenden gewohnt sind. Während wir heute, um die Ablenkungswinkel bequemer berechnen zu können, die gespiegelte Skala mit ihrem Mittelpunkt über der Achse des Fernrohrs anbringen und letzteres senkrecht zur Ebene des Spiegels stellen, will Poggendorff die Skala beliebig unter dem Fernrohr anbringen; es läßt sich daraus natürlich auch

1) Wiedemann, die Lehre v. d. Elektrizität. I. 1882. pag. 165 ff.
2) Pogg. Annal. Bd. 7. 1826. pag. 127.

der Winkel bestimmen. Wie man mit diesen einfachen Apparaten dennoch im Stande war zu messen, davon gleich mehr.

284. Der erste, welcher einen Apparat konstruierte, der zu Messungen an sich geeignet schien, war Pouillet, 1837.[1] Sein Apparat war folgender. In der Mitte eines zu einem Kreise gebogenen, mit seiner Ebene vertikal aufgestellten Kupferdrahtes von 1,6^{m} Länge, 0,02^{m} Breite und 0,002^{m} Dicke hing eine kleine 5—6^{cm} lange Magnetnadel, welche an ihrem Ende 16^{cm} lange hölzerne Fortsätze als Zeiger hatte, an einem Kokonfaden. Die Enden des Kreisdrahtes sind da, wo sie sich berühren würden, vertikal nach unten umgebogen und stehen in zwei kleinen Quecksilbernäpfen, sodaß der Kreis nicht geschlossen, sondern ein Strom von einem Quecksilbernapf zum andern durch den ganzen Kreis geleitet werden kann; dadurch wird die Nadel abgelenkt. Wenn nun zu Anfang der Beobachtung die Stromebene im magnetischen Meridian stand, so ist die Intensität des Stromes, wenn die Nadel zur Ruhe kommt, proportional der Tangente des Ablenkungswinkels, daher nennt Pouillet den Apparat eine Tangentenbussole.

Daß die Intensität proportional der Tangente des Ablenkungswinkels ist, folgt daraus, daß das von der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus T ausgeübte Drehungsmoment gleich $T \cdot \sin\varphi$, wenn φ den Ablenkungswinkel bedeutet, ist, und das entgegengesetzt gerichtete gleich große Drehungsmoment, ausgeübt durch den Strom, gleich $i \cdot \cos\varphi$ ist, also $i = T \cdot \operatorname{tang}\varphi$. Diese Wirkungsweise gestattet es Pouillet auch, von der Tangentenbussole zur Sinusbussole überzugehen. Es ist nur nötig, den Leiterkreis beweglich zu machen und ihn der abgelenkten Nadel so lange nachzudrehen, bis die Nadel in die Ebene des Stromes fällt; alsdann ist das Drehungsmoment von Seiten des Stromes einfach i, das des Erdmagnetismus hingegen $T \cdot \sin\varphi$, wenn φ der Winkel ist, um welchen man den Kreis hat drehen müssen. Pouillet nimmt bei dieser Sinusbussole aber nicht einen Kreis als Form des Leitungsdrahtes, sondern ein Rechteck, dessen horizontale Seite 2^{dm}, dessen vertikale 5—8^{cm} lang ist, um diesen Draht gleich als Marke für die horizontale Kreisteilung zu gebrauchen

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 281.

zur Ablesung des Winkels φ. Mit gutem Grund ist diese Einrichtung von Poggendorff 1840 beseitigt und die Kreisform wieder eingeführt. Für schwache Ströme wendet Pouillet mehrere Windungen des Drahtes an, verbindet also mit dem Meßapparat die Multiplikatormethode. Diese Apparate waren für ihn Hülfsmittel, das Ohmsche Gesetz abzuleiten, ferner dienten sie ihm zur Vergleichung der thermoelektrischen Ströme mit den hydroelektrischen, d. h. mit den von galvanischen Elementen. Er findet[1], daß zur Entwickelung von 2^{ccm} Wasserstoffgas, also nach Faraday zur Zersetzung von 1^{gr} Wasser, in einer Minute ein 13787 mal so großer Strom gehört, als ihn eine Wismut-Kupferkette in einem 10^{m} langen, 1^{m} dickem Kupferdraht bei 100^{0} Temperaturdifferenz der Lötstellen in derselben Zeit repräsentiert (siehe weiter unten pag. 375).

285. So wie Pouillet hier die Formel angiebt, ist freilich nicht die Stromstärke selbst gemessen, sondern eine ihr proportionale Größe; es eignet sich so die Methode Pouillets nur zur Vergleichung zweier Stromstärken, wie das angeführte Beispiel auch illustriert; jedoch bei solcher Anwendung gab sie wirklich das Verhältnis, während das selbstverständlich nicht gleich ist dem Verhältnis der Ablenkungswinkel, wie vor ihm wohl angenommen wurde.

Dem Pouilletschen Apparat hat Wilhelm Weber erst 1840 die Gestalt und die Bedeutung gegeben, welche ihm dauernden Wert sichern. Weber[2]) kam dazu durch die praktische Aufgabe, die Intensität eines Stromes von großer Stärke zu messen. Das chemische Maß konnte er dabei nicht gebrauchen, da dadurch der Strom zu sehr geschwächt wurde; er sah sich daher nach einer anderen Methode um, die fand er, wie es scheint, unabhängig, indem er einen Teil des Stromkreises von ganz bestimmter Länge in bestimmter Entfernung linear an einer Magnetnadel vorbei führte und aus deren Ablenkung die Stärke des Stromes berechnete. Diese Berechnung führte Weber zur Konstruktion eines dem Pouilletschen sehr ähnlichen

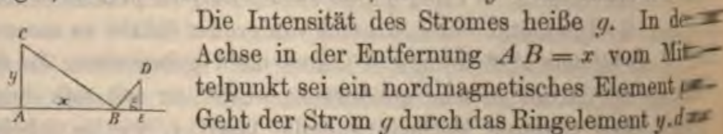
1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 304.
2) Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Vereins. 1840. pag. 48, 86; auch Pogg. Annal. Bd. 55. pag. 27. 1842.

Instrumentes. Er nahm einen Kupferring von 30□mm Querschnitt und 198,5mm Durchmesser, der unten aufgeschnitten mit seinen beiden Enden an zwei voneinander isolierten, ineinander gesteckten Leitungsröhren gelötet war; diese saßen an zwei horizontalen, parallelen, 4mm dicken Kupferdrähten, welche 1m lang waren und in zwei Quecksilbernäpfen endeten, welche mit den Polen des Elements verbunden waren. In der Mitte des Kreises stand auf einer an dem Kupferring befestigten Holzfassung die Magnetnadel von 50mm Länge über einem geteilten Kreise.

Um mittels dieser Tangentenbussole nun die Messung der Stromstärke auf absolutes magnetisches Maß zurückzuführen, erinnert Weber an die Gaußsche Methode, das magnetische Moment zu messen[1]). Wenn der Stab vom magnetischen Moment M in der „ersten Hauptlage" liegt, d. h. so, daß die Achse des Stabes verlängert durch den Mittelpunkt der Nadel geht und die Ablenkungswinkel für die Entfernungen r und r' des Mittelpunktes des ablenkenden Stabes vom Mittelpunkt der abgelenkten Nadel mit φ resp. φ' bezeichnet werden und die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus mit T bezeichnet wird, so ist

$$\frac{M}{T} = \frac{1}{2} \frac{r^5 \operatorname{tang} \varphi - r'^5 \operatorname{tang} \varphi'}{r^2 - r'^2} = L.$$

Nun sei in beistehender Figur A der Mittelpunkt des Ringes, AB die Achse desselben, $AC = y$ sein Halbmesser.



Die Intensität des Stromes heiße g. In der Achse in der Entfernung $AB = x$ vom Mittelpunkt sei ein nordmagnetisches Element μ. Geht der Strom g durch das Ringelement $y . du$ im Punkte C (von hinten nach vorn in der Figur), so wird μ in der Richtung BD nach D abgelenkt. Diese bewegende Kraft ist direkt proportional dem Produkte $g . \mu . y . du$ und dem Quadrate der Entfernung $x^2 + y^2$ umgekehrt proportional also $= f . \frac{g \mu y . du}{x^2 + y^2}$ und die Komponente in der Richtung der Achse (die einzig wirksame) ist

1) Gauß, Intensitas vis terrest. 1833; auch Pogg. Annal. Bd. 28. 1833. pag. 241, 591.

$$= \frac{f.g.\mu.y^2.du}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}. = \xi = BE.$$

Durch Integration über den ganzen Kreisring ergiebt sich die ganze Kraft des Stromes

$$= \frac{2\pi.f.g.\mu.y^2}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Ein in der Richtung AB liegender, unendlich kleiner Magnet M würde aus derselben Entfernung auf den Pol μ eine Kraft ausüben gleich

$$\frac{2M\mu}{(x^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}\ ^{1)}$$

Vergleicht man das mit der Wirkung jenes Stromes, so sind beide Ausdrücke gleich, wenn $M = \pi f g y^2$ gesetzt wird; dies Produkt soll das Moment des galvanischen Kreisstromes heißen $= G$; es läßt sich also gerade wie M nach absolutem Maße bestimmen und wir haben

$$G = L.T = \pi f.g r^2,$$

wenn r der Radius des Kreisringes ist.

Nimmt man den Strom $= 1$, welcher, wenn er die Fläche 1 in der Ebene umläuft, dieselbe Wirkung ausübt, wie die Einheit des Magnetismus, so ist $G = 1$ zu setzen, $g = 1$ und $\pi r^2 = 1$, also auch $f = 1$. Nach dieser Methode gemessen ergiebt sich die absolute Intensität eines Stromes:

$$g = \frac{L.T}{2\pi r^2}.$$

Kann man die Länge der Nadel als verschwindend klein betrachten gegen den Durchmesser des Kreises, so vereinfacht sich die Formel dadurch, daß man in der Reihenentwicklung für tang φ nur das erste Glied zu berücksichtigen braucht, also setzt: tang $\varphi = L/r^3$, dann geht die Formel für die Intensität über in:

$$g = \frac{1}{2\pi}.r.T.\text{tang}\,\varphi.$$

Diese Näherungsformel genügt noch, wenn die Länge der

---

1) Gauß, in den Resultaten a. d. Beobacht. d. magn. Ver. 1840. pag. 26.

Nadel den vierten oder fünften Teil des Durchmessers nicht übersteigt. Da der Fehler in der Intensität, ausgedrückt in Teilen der ganzen Intensität, bei einem Fehler $d\varphi$ in der Ablesung des Winkels gleich ist $\frac{2 \cdot d\varphi}{\sin 2\varphi}$, was ein Minimum ist für $\varphi = 45^0$, so folgt daraus, daß die vorteilhafteste Einrichtung die ist, wenn der Strom die Ablenkung 45^0 nahezu hervorruft. Bei Vergleichung zweier Ströme richtet man die Stärke daher am besten so ein, daß der Ausschlag bei dem einen nahezu ebensoviel über 45^0, wie bei dem andern unter 45^0 liegt.

286. Eine andere Art der Tangentenbussole hat Nervander[1]) 1843 konstruiert, welche von Lenz zu vielfachen Messungen angewendet wurde, heute aber fast ganz der Vergessenheit anheimgefallen ist. Nervander läßt eine Magnetnadel über einer Kreisteilung an einem Kokonfaden schwingen und bringt in der Verlängerung des Kokonfadens nach unten eine Stange an, an welcher sich eine Drahtrolle, deren Achse senkrecht zur Stange ist, befindet, die sich in horizontaler Ebene drehen läßt. Die Drahtrolle läßt sich auf- und abschieben und dadurch der Ablenkungswinkel der Nadel α für jede Stromstärke passend wählen. Stellt man die Drahtrolle dann mit ihrer Achse senkrecht gegen den magnetischen Meridian, so sind die Stromstärken proportional den Tangenten der Ablenkungswinkel, dann sei F die Wirkung des Stromes, T die Horizontalintensität des Erdmagnetismus und β der Winkel, welchen die Windungen der Rolle mit dem Meridian machen, so ist $T \sin \alpha = F \cos(\alpha + \beta)$, d. h. $\frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha + \beta)} = \frac{F}{T}$; für $\beta = o$, d. h. wenn die Achse senkrecht steht zum Meridian ist $F = T . \operatorname{tang} \alpha$.

287. Da bei der Tangentenbussole das Tangentengesetz nur gilt, wie Weber zeigte, wenn die Länge der Nadel verhältnismäßig klein war, gegen den Durchmesser des Kreises, so kam Helmholtz[2]) 1849 auf den Gedanken, eine andere Kon-

1) Pogg. Annal. Bd. 59. 1843. pag. 204.

2) Wiedemann, Galvanismus und Elektromagnetismus. 1. Aufl. 1863. pag. 197.

struktion auszuführen, bei welcher das Tangentengesetz besser gilt. Unabhängig hiervon fand Gaugain 1853 dieselbe Konstruktion. Gaugain[1]) stellt die Nadel excentrisch auf und zwar in der Achse des Kreisringes, in der Entfernung $\frac{1}{2} r$ vom Mittelpunkt des Ringes. Nach obiger Ableitung bei Weber ist die Wirkung des Stromes auf ein nordmagnetisches Teilchen μ gleich $\xi = \frac{f 2 \pi g \mu . r^2}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$; haben wir eine Nadel, so entspricht dem nordmagnetischen Teilchen ein Teil $-\mu$ Südmagnetismus, auf diesen ist die Wirkung $\xi' = -\frac{f 2 \pi g \mu . r^2}{(r^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}}$. Hat die Nadel die Länge $2 l$, so ist das Drehungsmoment

$$D = (\xi - \xi') \, l . \cos \alpha$$

bei einer Ablenkung α.

Der Erdmagnetismus übt ein entgegengesetztes Drehungsmoment aus $= T . 2 l \mu . \sin \alpha$ oder es besteht die Gleichung:

$$f 2 \pi g \mu r^2 l \cos \alpha . \frac{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} + (r^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} . (r^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}} = T 2 l \mu \sin \alpha,$$

d. h. $$g = \frac{T \operatorname{tang} \alpha}{f r^2 \pi} . \frac{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} . (r^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}}{(r^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} + (r^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}} .$$

Bezeichnet man dann mit a den Abstand des Mittelpunktes der Nadel von dem Mittelpunkt des Kreisringes, so ist, wenn der Nordpol der Stromebene zugewandt ist, $x = a - l \sin \alpha$: $x' = a + l \sin \alpha$; setzt man diese Werte in den Ausdruck für g, so erhalten wir

$$g = \frac{(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}{f 2 r^2 \pi} . T . \operatorname{tang} \alpha \left[1 + \frac{3}{4} (r^2 - 4 a^2) \frac{l^2 \sin^2 \alpha}{(r^2 + a^2)^2} \right].$$

In diesem Ausdruck verschwindet das letzte Glied für $r = 2 a$ und es ergiebt sich $g = k . r . T . \operatorname{tang} \alpha$ Bei dieser Rechnung ist vorausgesetzt, daß die Pole in der Achse selbst liegen, d. h. daß die Nadel wieder sehr kurz sein muß. Selbst wenn die Länge der Nadel nur $1/_{4}$ des Kreisdurchmessers ist, ergiebt sich nach Bravais noch ein Fehler bei Annahme des Tangentengesetzes.

1) Pogg. Annal. Bd. 88. 1853. pag. 442.

Man kann bei dieser excentrischen Aufstellung nach Gaugain noch eine Verdoppelung der Kraft eintreten lassen, indem man die Nadel in die Mitte zwischen zwei gleiche, in gleicher Richtung von demselben Strom durchlaufene Kreisringe stellt, von jeden in der angegebenen Entfernung. Auch diese Einrichtung findet sich hin und wieder.

288. Von dem Fehler der Tangentenbussole frei ist die oben erwähnte Sinusbussole; diese verdankt ihre Hauptausbildung Poggendorff.[1]) Das Prinzip habe ich bei Pouillet auseinandergesetzt. Poggendorff brachte eine zweite untere Kreisteilung an, durch welche man leicht den Winkel, um welchen man den Stromkreis gedreht hat, ablesen kann. Das Sinusgesetz gilt bei diesem Apparat unabhängig von der Länge der Nadel, wenn nur der Winkel, den die Kreisebene vor der Ablenkung mit dem Meridian machte, gleich ist dem, welchen sie nach der Drehung mit der abgelenkten Nadel macht. Dabei zeigt sich der Übelstand, daß, wenn die Stromstärke gleich der Horizontalintensität ist, die Meßbarkeit aufhört, da die Nadel dann herumgeworfen wird beim Nachdrehen des Kreises. Also ist die Sinusbussole nur für kleine Stromstärken brauchbar; deswegen ist es gut, derselben durch Feststellbarkeit des Kreises die Möglichkeit zu geben, auch als Tangentenbussole gebraucht zu werden, wie das von Siemens ausgeführt ist.

Wie nun die Tangentenbussole zu einem fehlerfreien Apparat wird, durch Beschränkung auf sehr kleine Winkel, können wir erst mit Nutzen sehen nach der Darstellung der Induktion, wovon gleich die Rede sein wird.

Ich erwähnte, daß es neben diesem elektromagnetischen Maße auch ein elektrochemisches gebe. Dazu wollen wir uns jetzt wenden.

289. Es ist klar, daß die chemische Wirkung gleich nach ihrer Entdeckung wenigstens das Mittel bot, Ströme ungefähr in Bezug auf ihre Stärke zu vergleichen, je nach der größeren oder geringeren Gasentwicklung; so finden wir denn auch bei früheren Schriftstellern, wie Ritter, Erman, Davy etc.

[1]) Pogg. Annal. Bd. 50. 1840. pag. 504.

häufig als Grund für ihr Urteil über die größere oder geringere Kraft des Stromes angegeben, daß die Gasentwicklung stark oder gering gewesen sei. Als Erkennungszeichen für einen Strom wurde freilich die Gasentwicklung sehr bald mißkreditiert, indem bei unzulänglicher Beobachtungsmethode schwache Ströme gar keine Entwicklung erkennen ließen. (Man vergleiche das bei Ohm gesagte über die chemische Wirkung schwacher Ströme.) Erst nachdem Faraday sein elektrolytisches Gesetz gefunden hatte, war es möglich, einen Apparat für Strommessung auf die chemische Wirkung des Stromes zu gründen. In der That gab Faraday[1]) nun auch einen solchen Meßapparat an und nannte denselben Voltaëlektrometer oder, wie es sich allgemein einbürgerte, Voltameter. Nach seiner Angabe besteht dies Voltameter aus einem mit verdünnter Schwefelsäure vom spezifischen Gewicht 1,34 gefüllten Glasgefäße, welches durch einen eingeschliffenen Glasdeckel luftdicht verschlossen werden kann; der Deckel hat drei Durchbohrungen, zwei seitliche, um durch Glasröhren isolierte, starke Kupferdrähte einzuführen, an welche unten zwei starke Platinplatten angelötet sind, die in die Flüssigkeit hineinragen. Die dritte mittlere Durchbohrung hat eine Glasröhre, welche das entwickelte Gas in eine andere kalibrierte Glasröhre leitet, in welcher man die Menge des entwickelten Knallgases in Kubikzollen mißt.

290. Diese Methode erregte bei De la Rive[2]) Bedenken, da ein Teil des entwickelten Gases durch die Flüssigkeit absorbiert wird, er schlug, um dies zu vermeiden, eine Abänderung des Apparates dahin vor, daß er das mittlere Rohr nicht zur Auffangung des entwickelten Gases gebrauchte, sondern es vielmehr bis auf den Boden der Flüssigkeit fortführte; nun blieb das in der Flüssigkeit entwickelte Gas in dem weiten Gefäße selbst, übte einen Druck auf die Flüssigkeit aus und trieb dieselbe in der mittleren Röhre, die zu dem Zweck auch oben offen war, in die Höhe. Er nahm nun an, daß das Volumen des absorbierten Gases dasselbe bleibe, wie wenn das Gas frei sei, dann konnte man aus bekanntem Barometerdruck das Volumen des Gases be-

1) Experiment. research. Ser. 7. § 710. Pogg. Annal. Bd. 33. 1834. pag. 316.

2) Pogg. Annal. Bd. 40. 1837. pag. 378.

rechnen. Analog ist der Apparat Stratinghs[1]), der die mittlere Röhre durch den Boden des Gefäßes austreten läßt und U-förmig gebogen in die Höhe führt.

Eine Konstruktion, wie sie mit einer kleinen Modifikation noch heute gebraucht wird, gab Roberts[2]) an, indem er ein U-förmig gebogenes Glasrohr nahm, in dessen einem Schenkel am unteren Ende die beiden Platinelektroden seitlich einschmolz, dieses Rohr oben verengte und durch einen eingeschliffenen Hahn verschließbar machte. Der zweite Schenkel des U-förmigen Rohres endet in einem weiten Gefäß, wird nun der Strom durch die Flüssigkeit des ersten Schenkels geleitet, so steigt das entwickelte Gas in diesem Rohre in die Höhe, drückt die Flüssigkeit in den zweiten Schenkel, wo sie in dem weiten Gefäß angesammelt wird. Aus gleich zu besprechenden Gründen giebt man diesem Apparat heute die Einrichtung, daß beide Gase getrennt entwickelt werden in zwei Schenkeln, die unter sich und mit dem dritten Schenkel, welcher das weitere Gefäß trägt, unterhalb der Elektroden kommunizieren.

Der erste, der es für wünschenswert hielt, die Gase getrennt aufzufangen, war Daniell.[3]) Er schnitt einen starken, an beiden Enden geschlossenen Glascylinder in der Mitte durch und setzte die beiden Hälften wieder zusammen, nachdem er eine poröse Thonwand dazwischen gelegt hatte, mittels Schrauben. In jede Hälfte ragte von unten eine Platinelektrode und von oben ein eingeschliffenes Glasrohr, durch welches das entwickelte Gas entweichen konnte und in kalibrierten Gefäßen aufgefangen wurde. Da Daniell hauptsächlich die zurückbleibenden Flüssigkeiten untersuchen wollte, fand er die Kommunikation derselben durch die Thonscheidewand noch zu groß, er wandte deswegen als trennende Wand einen mit zwei Blasen geschlossenen Ring an und führte mit diesem seine Untersuchungen aus.

An Stelle dieses Blasen-Ringes setzte Poggendorff[4]) ein Drahtgeflecht, da dies dem Strome keinen erheblichen Wider-

1) Bull. de Néerl. 1839. pag. 445.
2) Annal. of Electr. IV. pag. 401.
3) Pogg. Annal. Ergänzungsband 1. 1840. pag. 565.
4) Pogg. Annal. Bd. 55. 1842. pag. 277 etc.

stand bot, und bei der Kleinheit seiner Maschen unter Wasser den Durchgang der Gase völlig hinderte, besonders aber gestattete, auch alkalische Flüssigkeiten anzuwenden, welche die tierische Membran würden zerstört haben. Der Poggendorffsche Apparat war ein höchst einfacher; zwei kalibrierte Glasröhren, von denen die eine, zur Aufnahme des Wasserstoffs bestimmt, den doppelten Querschnitt der anderen hatte, waren am einen Ende verschlossen, am unteren offenen endeten sie in zwei Drahtgeflechtsröhren und trugen innerhalb derselben die Elektrodenplatten. Dabei sei bemerkt, daß sich die Anwendung von Elektrodenplatten in Deutschland anfangs wenig Eingang verschafft haben muß, denn Poggendorff berichtet ausdrücklich, daß die Anwendung der Platten, die er in London kennen gelernt habe, wegen der größeren Oberfläche geeigneter seien, wie die Elektrodendrähte. Die beiden Glasröhren wurden, wenn er statt der unteren Drahtgeflechte poröse Thoncylinder nahm, bis an den Rand mit der Sperrflüssigkeit gefüllt und dann umgekehrt in eine Wanne mit derselben Flüssigkeit getaucht. Für die mit Drahtnetzen versehenen Glasrohre brachte er am oberen Ende der Röhren einen Hahn an, welcher das Aufsaugen der Flüssigkeit in die Röhren gestattete.

Gegen die Drahtnetze wandte Jacobi[1]) ein, daß dieselben nicht indifferent seien, sondern als Zwischenplatten wirkten. Allein Poggendorff weist nach, daß die Differenz sehr gering sei, macht aber darauf aufmerksam, daß man, um auch diese zu vermeiden, statt der Drahtgeflechte, sehr wohl Leinewand anwenden könne.

Neben diesen Apparaten, welche geeignet waren, das entwickelte Gas nach Kubikcentimetern zu messen, benutzte Poggendorff auch größere Thontröge, die durch eine poröse Thonscheidewand in zwei Hälften geteilt waren und jedes der Gase in einer pneumatischen Wanne aufzufangen erlaubten.

Mit Hilfe dieser Apparate suchte Poggendorff die Frage zu erledigen, welche Elektroden sind bei welchen Flüssigkeiten

---

1) Pogg. Annal. Bd. 57. 1842. pag. 96; Poggendorffs Antwort: pag. 99.

die besten, d. h. was liefert die geringste Stromschwächung bei möglichst hoher Gasentwicklung.

Die von Bunsen vorgeschlagene, seinerzeit beschriebene, besonders fabrizierte Kohle erschien Poggendorff zur Anwendung in einer Zersetzungszelle nicht geeignet, da die Kohle die Gase zum Teil absorbierte und das eine in anderer Weise wie das andere. Am geeignetsten erschienen ihm bei der ersten Untersuchung Eisenelektroden in einer alkalischen Flüssigkeit, welche zu Anfang freilich wohl eine größere Unregelmäßigkeit zeigten, sehr bald jedoch ganz gleichmäßige Abnahme der Intensität ergaben. In einer späteren Untersuchung [1]) findet er freilich Platinelektroden in verdünnter Schwefelsäure noch besser, und so ists in der That noch heute allgemein gebräuchlich, Platin in den Zersetzungszellen anzuwenden. Die Untersuchung führte Poggendorff mit seiner Sinusbussole aus, er prüfte an ihr die Konstanz des Stromes bei Einschaltung der Zersetzungszelle.

291. Auf diese Weise ergab sich also ein elektrochemisches Strommaß, dessen Maßstab gegeben war in der entwickelten Knallgasmenge. Man sagt dann, der Strom, welcher in der Zeit 1 ein Kubikcentimeter Knallgas zersetzt, habe die Intensität 1. Nach diesem Maßsysteme hat besonders Jacobi viel gemessen. Dabei ist aber zu beachten, daß bei der Zersetzung des Wassers, auch des angesäuerten, wie seiner Zeit berichtet ist, nach Schönbein stets eine Ozonisierung eintritt, und dann immer eine gleichzeitige Bildung von Wasserstoffsuperoxyd, dadurch wird das Volumen des erhaltenen Sauerstoffs, also auch das des Knallgases, wesentlich vermindert, man thut daher gut, für schwächere Ströme nur die Menge des Wasserstoffs zu messen und dessen Volumen mit $\frac{3}{2}$ zu multiplizieren, um das Volumen des Knallgases zu erhalten. [2]) Reduziert man das Volumen Knallgas auf 0° und 760 ^{mm} Druck, so ist die Dichtigkeit 0,0005363, also entspricht 1 ^{ccm} Knallgas 0,5363 ^{mgr} Wasser, man kann also auch die Stromstärke angeben in Milligramm zersetzten Wassers, dann ist dieselbe nahezu die Hälfte von der nach dem erhaltenen Knallgas gemessenen.

1) Pogg. Annal. Bd. 70. 1847. pag. 182.

2) Vgl. Pogg. Annal. Bd. 70, 1847, pag. 105 die Arbeit Jacobis.

Durch das Faradaysche elektrolytische Gesetz ist es nun aber möglich, dieses Maß sofort in ein beliebiges anderes chemisches umzusetzen. Faraday selbst giebt das erste Beispiel hierzu bei der Begründung seines Gesetzes. Zuerst gebraucht zur Strommessung, wenn auch nur indirekt, ist die Zersetzung von Metalllösungen wohl von Becquerel.[1]) Er leitete Kupferdrähte als Elektroden in Kupfervitriollösung und bestimmte das Gewicht der Drähte vorher und nach 48stündigem Schluß des Stromes; er fand eine Gewichtszunahme von 0,0215 ^{gr}; als er den Strom auf die Hälfte reduzierte, fand er 0,01 ^{gr} Zunahme nach derselben Zeit an der negativen Elektrode. Die Stromstärke maß er an seiner elektromagnetischen Wage. Der größere oder geringere Koncentrationsgrad hatte keinen Einfluß auf das Resultat. Dieselbe Beobachtung stellte er für salpetersaures Silber an und Zinkvitriollösung. Er bewahrheitete auf diese Weise das elektrolytische Gesetz. Nach dieser Methode würde man die Stromstärke 1 dann haben, wenn in der Zeit 1 die Menge 1 ^{mgr} Kupfer, resp. 1 ^{mgr} Silber niedergeschlagen wird, und aus den Dichtigkeiten ergiebt sich dann, daß der Strom, dessen Intensität 1 ist nach entwickeltem Knallgas gemessen, gleich 1,889 nach entwickelten Milligramm Kupfer gemessen, gleich 6,432 nach entwickelten Milligramm Silber gemessen ist. Ich füge nur diese an, da diese beiden Meßmethoden sich eingebürgert haben, während nach zersetztem Zink meines Wissens sonst nicht gemessen ist.

Von größter Wichtigkeit mußte es nun sein, diese chemischen Strommaße auch auf die elektromagnetischen zu beziehen. Der erste Versuch hierzu ist von Pouillet[2]) schon 1837 gemacht, wie oben bereits angedeutet ist, freilich mit wenig befriedigendem Resultat, er kommt eigentlich nicht weiter als zu dem Becquerelschen Satze, daß die zur Zersetzung eines Milligramms Wasser nötige Elektrizitätsmenge konstant ist, d. h. unabhängig von der Intensität des Stromes. Er beobachtet die Zeit, welche nötig ist zur Entwickelung von 2 ^{ccm} Knallgas bei verschiedenen Stromstärken, welche er durch die Ablenkung

1) Pogg. Annal. Bd. 42, 1837, pag. 307.
2) Pogg. Annal. Bd. 42, 1837, pag. 300; vergl. auch pag. 365.

einer Nadel an der Sinusbussole mißt, und vergleicht die so bestimmte Elektrizitätsmenge mit der, welche in einem Wismut-Kupfer-Thermoelement von 10^m langem, 1^m dickem Kupferdraht bei einer Temperaturdifferenz der Lötstellen von 100° in einer Minute übergeht, und findet sie 13787 mal so groß wie letztere. Ebensowenig führen die Beobachtungen Jacobis[1]) zu dem gewünschten Resultat, sie hatten nur den Zweck, Widerstände zu messen und das Faradaysche Gesetz zu bestätigen. Der Erste, der die Aufgabe löste, war auch hier Wilhelm Weber in seiner Arbeit über das elektrochemische Äquivalent des Wassers.[2])

Der Name elektrochemisches Äquivalent rührt von Faraday her und beruht auf der gewissermaßen materialistischen Anschauungsweise, daß gleichsam, wie zwei Körper, welche einander in einer chemischen Verbindung ersetzen können, chemisch äquivalent sind, z. B. 9 ^{gr} Wasser und 36,5 ^{gr} Salzsäure, auch zur Ausscheidung eines bestimmt großen Elektrolytes eine äquivalente Menge Elektrizität gehöre. Wenn man dann die Elektrizität nach irgend einem Maße mißt und bestimmt die Maße irgend eines Körpers, welcher durch die Einheit der Elektrizität ausgeschieden wird (sich chemisch mit ihm verbindet), so nennt Faraday dies das elektrochemische Äquivalent des Körpers. Weber zeigt nun zunächst, daß ein chemisches Maß der Elektrizität hier unzulässig ist, da dann die chemischen und elektrochemischen Äquivalente dieselben Zahlen sind, man hat also ein anderes zu wählen.

Weber wählt das von ihm eingeführte (siehe oben S. 367) absolute Maß, wonach die Elektrizitätsmenge gleich 1 genommen wird, die in der Zeit 1 durch den Querschnitt eines Drahtes, welcher in der Ebene die Fläche 1 begrenzt, gehen muß, um in der Ferne identisch zu wirken, wie die Einheit des absolut gemessenen Magnetismus. Die Methode der Messung ist eine ganz neue. Die Sinusbussole zu verwerten ist unmöglich, da die Ströme zu stark sind, die Nervandersche Tangentenbussole ist ebenfalls ungeschickt, da keine absolute Bestimmung damit

1) Pogg. Annal. Bd. 47, pag. 226; Bd. 48, pag. 26. 1839.
2) Resultate aus d. Beob. d. mag. Ver. 1840, pag. 91.

zulässig ist. Weber hängt deswegen statt eines Magneten, der in der Tangentenbussole abgelenkt wird, eine cylindrische Rolle mit einer Aufwickelung von bekannter Drahtlänge bifilar auf an zwei dünnen, nicht übersponnenen Metalldrähten. Diese Bifilarsupension gestattet auf leichte Weise die durch dieselbe hervorgerufene Direktionskraft zu berechnen[1]) nach der Gaussschen Anleitung. Da die Drahtwindungen auf der Rolle nahezu Kreise sind, so erhält man die umflossene Fläche S durch Multiplikation des Querschnitts der Rolle in die Anzahl der Windungen; bezeichnet man die Direktionskraft mit D, die absolute Intensität des Stromes mit G, die Horizontalintensität des Erdmagnetismus mit T, die Ablenkung mit φ, so ist

$$S.T.G = D.\operatorname{tang}\varphi.$$

Es läßt sich also G berechnen und aus allen ihren Werten für den Zeitraum t, in welchem die Wasserzersetzung geschah, erhält man die gesamte durch den Draht gegangene Elektrizitätsmenge $E = \int G.dt$. Ist nun die zersetzte Wassermenge in Milligrammen $= W$, so ist $W/E =$ dem elektrochemischen Äquivalent. Aus fünf so angestellten Messungen erhielt Weber im Mittel das elektrochemische Äquivalent = 0,009376 mgr. Die Zeit war eine Sekunde; da die chemischen Strommaße auf eine Minute zurückbezogen sind, würden wir mit 60 zu multiplizieren haben, also finden, der absolut gemessene Strom 1 zersetzt in einer Minute 0,56256 mgr Wasser.

Spätere Untersuchungen ergaben, nach Casselmann 0,009331 mgr, nach Bunsen 0,0092705 mgr und nach Joule 0,009239 mgr in einer Sekunde. Als Mittel aus diesen vier Beobachtungen ist die absolute Intensität des Stromes der in der Minute 1 ccm Knallgas entwickelt = 0,96.

Das Instrument, mit welchem Weber dies beobachtet, ist die Vorstufe zu seinem späteren Dynamometer, wegen der Wichtigkeit desselben möchte ich hierauf noch besonders aufmerksam machen. Ebenfalls wendet Weber hier zuerst die Bifilarsuspension für elektrische Meßversuche an, sowie die Spiegelablesung. Es ist daher diese Arbeit, ganz abgesehen von dem speziellen Zweck, den sie verfolgte, schon durch die

1) Resultate etc. 1837. pag. 3.

Beobachtungsmethode von fundamentalster Bedeutung. In Bezug auf die Spiegelablesung ist es auch der Vorläufer des von Weber bald erfundenen Spiegelgalvanometers.

292. Man hatte übrigens durch Vergleichung auch schon vor und mit Weber an andern Orten vorzügliche Bestimmungen über Leitungswiderstand und elektromotorische Kraft gemacht. Schon Ohm[1]) giebt bei der Begründung seines Gesetzes die erste, heute Substitutionsmethode genannte, Beobachtungsart. Er schaltet von zwei Drähten, deren Widerstände verglichen werden sollen, solche Längen ein, daß die Nadel des Galvanoskops auf demselben Teilstrich zur Ruhe kommt, dann sind offenbar die Intensitäten gleich. Will man nach dieser Vorschrift messen, so setzt das voraus, daß man einen beliebig langen Leitungsdraht, dessen Widerstand man kennt, oder nach dessen Widerstand man messen will, einschalten kann. Zu dem Zweck muß man sich also einen passenden Widerstandssatz wählen.

Merkwürdigerweise vergingen volle vierzehn Jahre ehe es zu einem solchen bequem eingerichteten Widerstandsmesser kam, und da traten fast gleichzeitig drei Männer mit einem solchen auf, sicher alle unabhängig von einander und mit verschiedenen Anordnungen. Zuerst veröffentlichen that Poggendorff[2]) seinen Apparat. Auf einem 3′ langen, 4″ breiten, $1^1/_2$″ dicken Brette sind vier Neusilberdrähte von 0,166‴ Dicke parallel ausgespannt. An der einen Seite des Brettes endigen sie in Ösen, die an Stiften befestigt sind, an der andern in kupfernen Klemmschrauben, die im Brette fest sitzen. Die einzelnen Drähte unter sich stehen zunächst nicht in leitender Verbindung, diese kann aber hergestellt werden durch dicke Messingklammern oder parallelopipedische kupferne Läufer, welche den Widerstand 0 haben und auf je zweien der Drähte hinlaufen können. Schaltet man diesen Widerstandsmesser in die Leitung, so repräsentieren die vier Drähte, da sich nach Versuchen von Rieß die Leitungsfähigkeit des Kupfers zu der des Neusilbers verhält wie 100:8,86 einen Widerstand gleich dem von

1) Schweiggers Journal Bd. 46. 1826. pag. 141.
2) Pogg. Annal. Bd. 52. 1841. pag. 511.

124′ überall gleich dicken Kupferdraht. Wiedemann ersetzte die Neusilberdrähte durch Platindrähte[1], fügte ein in Millimeter geteiltes Lineal unterhalb der Drähte auf dem Brette zu und wandte den von Neumann angegebenen Quecksilberkontakt an. Ein viereckiges eisernes Kästchen hat an den, den Befestigungspunkten der beiden Drähte zugewandten Seiten Glas oder Elfenbeinplatten, welche je zwei feine Löcher haben, durch welche die Drähte gerade passend hindurch gehen. Der Kasten ist mit Quecksilber gefüllt und stellt so einen vollkommenen Kontakt her.

Schon ein Jahr vor der Veröffentlichung des Poggendorffschen Widerstandsmessers hatte Jacobi[2]) der Petersburger Akademie am 24. April (6. Mai) 1840 zwei Stromregulatoren, wie er sie nannte, vorgeführt. Der erste Apparat bestand aus einem offenen, viereckigen, wasserdichten Holztroge, in welchen zwei Kupferplatten, von einer darüber hingehenden festen Leitstange getragen, ragten, sodaß sie durch eine thönerne Scheidewand, die im Kasten sich befand, getrennt waren. Die Kupferplatten konnten durch eine Mikrometerschraube einander genähert oder von einander entfernt werden, wodurch es möglich war, den Widerstand der zwischen den Platten befindlichen Kupfervitriollösung zu verringern oder zu vergrößern. Jacobi wandte Kupfervitriol an, um die Polarisation möglichst gering zu machen. Für feinere Versuche wählte er einen zweiten Regulator mit festem Leiter.

Auf einer gemeinschaftlichen Achse saßen zwei von einander durch einen kleinen Zwischenraum getrennte Cylinder, auf welche Schraubenwindungen gemeißelt waren, der eine Cylinder war aus Marmor, der andere aus Messing. Ein Messingdraht von $^1/_{40}{}''$ Dicke war auf die Messingschraube gewunden und ging von da unter der Marmorschraube her bis zu einer an derselben befestigten Messingscheibe und wurde durch ein mit einem Laufrade versehenes Gewicht straff nach unten gezogen. Drehte man nun die gemeinsame Achse der beiden Schrauben,

---

1) Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. I. 1861. pag. 154.

2) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 335; die Angabe des Datums pag. 346; die Regulatoren pag. 338 und 340.

sodaß der Draht von der Messingschraube abgewickelt wurde, so ward er gleichzeitig auf die Marmorschraube aufgewickelt und so ein größerer Teil des Drahtes eingeschaltet. Jacobi sieht wohl die Fehler seines Apparates. Es ist kaum möglich die Marmor- und Messingschraube von gleichen Dimensionen herzustellen, es wird also mehr oder weniger aufgewickelt als abgewickelt, sodaß bei einer Zählung der Umdrehungen nicht die Länge genau bestimmt wird, ferner ist immer der Teil des Drahtes eingeschaltet, welcher zu Anfang des Versuches vom Ende der Messingschraube zum Anfang der Marmorschraube führte. Aus diesen Gründen hat denn der Rheostat von Wheatstone, der nach ähnlichen Prinzipien gebaut war, mehr Verbreitung gefunden und sich hier und da bis heute erhalten.

Wheatstone[1]) hatte seinen Rheostaten schon 1840 fertig, er zeigte ihn damals Jacobi. Dieser Apparat besteht aus zwei nebeneinander liegenden parallelen Cylindern, der eine aus Marmor, der andere aus Messing, der erstere trägt ein enges Schraubengewinde, der Radius des letzteren ist gleich dem kleinsten Radius des Marmorgewindes. Über dies Gewinde ist ein Messingdraht in die Rillen eingelegt, dessen vorderes Ende am vorderen Ende der Marmorwalze festsitzt, dessen hinteres aber nicht auf der Marmorwalze endet, sondern auf der nebenliegenden Messingwalze. Das vordere Ende des Drahtes ging in eine Messingscheibe, welche entweder durch Quecksilberkontakt oder durch Schleifen auf einer Rolle mit einem Poldraht verbunden werden konnte, ebenso stand das hintere Ende durch die Messingwalze mit dem andern Poldraht in Verbindung, durch Drehen der einen Walze, z. B. der Messingwalze, wurde auf diese Draht auf-, also von der Marmorwalze abgewickelt, und dem entsprechend weniger oder mehr Leitungsdraht eingeschaltet.

Wegen der Unbequemlichkeit mit diesen zwei Walzen zu operieren, sowie wegen der Überlegung, daß durch das Ziehen des Drahtes, welches dieser dadurch erleidet, daß er auf eine Walze aufgewickelt wird, sich also von der andern abwickeln

1) Pogg. Annal. Bd. 62. 1844. pag. 509.

muß, der Draht in seinem Leitungsvermögen variabel wird, konstruierte Wheatstone einen zweiten Rheostaten, welcher nur aus einer Marmorwalze bestand, in deren Schraubengewinde der Messingdraht fest eingelötet war. Mitten über der Walze, ihr parallel, befand sich ein dreiseitiges Prisma, auf welchem sich eine Fassung verschieben ließ, die mit einer nach unten gehenden Feder genau auf dem Draht der Walze schleifte, mittels eines kleinen Ausschnittes. Drehte man nun die Walze, so wurde die Feder mit der Fassung durch den Draht auf dem Prisma hin- und hergeschoben, je nachdem man vor oder zurück drehte, und dem entsprechend wurde mehr oder weniger Draht von der Walze eingeschaltet, wenn der eine Pol des Elementes mit dem Prisma, der andere mit dem Draht der Walze in Verbindung stand. Diese Einrichtung veränderten Lenz und Nervander[1]) dahin, daß an die Stelle der schleifenden Feder eine durch ein Gewicht heruntergedrückte feststehende Rolle angebracht wurde und nun natürlich die Walze auf einer Messingachse drehbar und in der Längsrichtung derselben verschiebbar eingerichtet wurde, was ja leicht erreicht werden kann, wenn die Achse der Marmorwalze selbst eine Schraube besitzt, die in einer festen Mutter läuft.

Später gab Jacobi[2]) einen besonderen Widerstandsmesser an, der vorzüglich zu genauen Messungen kleiner Widerstände geeignet sein sollte, das Quecksilbervoltagometer. Es besteht aus zwei ziemlich weiten (0,35″), mit Quecksilber gefüllten, nebeneinander stehenden Glasröhren, in welche von oben durch je einen seitlichen Draht der Strom eingeführt wird. In jede Quecksilberröhre ragt von oben ein Platindraht von bestimmtem Querschnitt (0,0355″), beide Drähte werden gehalten von einem breiten horizontalen Messingbügel, welcher an einer Schraube auf und nieder bewegt werden kann, sodass verschieden lange Teile des Platindrahtes eingeschaltet werden können, deren Länge an einer Skala abgelesen werden. Müller[3]) ersetzte die

1) Pogg. Annal. Bd. 59. 1843. pag. 145.

2) Pogg. Annal. Bd. 78. 1849. pag. 173.

3) Müller, Programm des Gymnasiums zu Wesel. 1857; vergleiche Wiedemann, Lehre von der Elektrizität. I. 1882. pag. 433.

Platindrähte, welche leicht verbiegen, durch Quecksilberröhren, welche gehoben und gesenkt werden können.

Praktisch brauchbarer ist die Einrichtung von Eisenlohr, welcher verschieden lange Drahtrollen übereinander legt und sie durch Holzplatten trennt. An diesen Holzplatten sind Messingränder angebracht, an welchen die Enden der zwischenliegenden Drahtrollen festsitzen, die Messingränder können durch dicke Messingscheiben verbunden werden, durch Vorschieben der Scheiben schaltet man die Drahtrollen aus, durch Seitwärtsdrehen der Scheiben werden sie eingeschaltet, so hat man einen Widerstandssatz von bestimmten abgegrenzten Widerständen. Verbessert ist dieser Satz durch Siemens 1860, der die Rollen nicht übereinander sondern nebeneinander legte und die je zwei Enden benachbarter Rollen verbindenden Messingblöcke durch Stöpsel verband. In dieser Form sind die Rheostaten heute allgemein verbreitet als „Stöpselrheostaten".

293. Die Methode, wodurch man den Leitungswiderstand bestimmte, war zunächst die Ohmsche, wie ich bereits erwähnte. Ohm setzt[1]) die Stärke der magnetischen Wirkung $= X$, die elektromotorische Kraft $= a$, den Widerstand des Elementes, der Bussole und der sonst zur Schließung nötigen Drähte $= b$, endlich den veränderlichen Widerstand $= x$, so ist $X = \frac{a}{b+x}$. Für konstantes a und b hat man dann bei gleichem X auch gleiches x. Man nennt dann b den wesentlichen Widerstand, x den außerwesentlichen. Besonders Lenz hat diese Methode ausgebildet, er bestimmt für eine Kombination zunächst den wesentlichen Widerstand, indem er beobachtet $X = \frac{a}{b}$, dann $X' = \frac{a}{b+x}$; daraus folgt $b = x \cdot \frac{X'}{X - X'}$. Es bedarf für einen beliebigen anderen Widerstand x'' dann nur einer einzigen Beobachtung, nämlich $X'' = \frac{a}{b+x''}$, und es ergiebt sich $x'' = b\frac{X - X''}{X''}$.

294. In demselben Jahre, in welchem Ohm seine Methode einführte, konstruierte Becquerel[2]) einen eigenen Apparat zur

1) l. c. pag. 151.

2) Annal. de Chimie et de Physique. Bd. 32. 1826. pag. 420.

Widerstandsbestimmung, der sich später mit einigen Abänderungen als Differentialgalvanometer einführte. Becquerel wickelte zwei gleich dicke von einander völlig isolierte Drähte auf einen Multiplikatorrahmen und verband die Enden beider Drähte in umgekehrter Ordnung mit den Polen einer Voltaschen Kette durch vier Quecksilbernäpfchen, sodaß die Kette durch jeden der beiden Drähte geschlossen war, aber während in einem Drahte der Strom von rechts nach links ging, ging er im zweiten von links nach rechts. Brachte Becquerel nun in den freien Raum im Innern des Multiplikators eine Nadel, so wurde dieselbe von den beiden Drähten in entgegengesetzter Weise beeinflußt, während der eine Strom den Nordpol nach Westen abzulenken strebte, lenkte der andere denselben nach Osten ab. Waren also beide Ströme gleich stark, so mußte die Nadel in Ruhe bleiben. Da die elektromotorische Kraft für beide Ströme dieselbe war, so war der Strom gleich, wenn der Widerstand in den beiden Schließungskreisen derselbe war. Da endlich die aufgewundenen Drähte genau gleich waren, so brauchte man nur die Drahtenden außerhalb der Rolle gleich zu machen, so blieb die Nadel im Gleichgewicht.

Auf diese Weise verglich Becquerel die Leitungsfähigkeit verschiedener Drähte; schaltete er z. B. in den einen Leitungskreis 100^{cm} Kupferdraht ein, so durfte er von Golddraht bei demselben Querschnitt nur $93{,}60^{cm}$, von Eisen nur $15{,}8^{cm}$ einschalten, um die Nadel im Gleichgewicht zu erhalten. In derselben Arbeit giebt Becquerel mit diesem Apparat auch den von Ohm direkt gegebenen Nachweis, daß das Gefälle in gleichen Distanzen dasselbe ist. Er schließt eine Kette durch einen einfachen Leitungsdraht und schaltet den einen Draht seines Galvanometers als Nebenschließung an zwei in der Distanz *d* liegenden Punkten, den andern an zwei anderen ebenfalls die Distanz *d* einschließenden Punkten in umgekehrter Ordnung ein; dann stand die Nadel im Gleichgewicht, hatten die zweiten Punkte die Distanz *d'*, so wurde die Nadel abgelenkt.

295. Von diesem Galvanometer machte vorzüglich Becquerels Sohn[1]) Gebrauch 20 Jahre nach seinem Vater; er

1) Annal. de Chimie et de Physique. S. III. Bd. 17. 1846. pag. 242 ff.

nannte den Apparat auch zuerst Differentialgalvanometer. Sein Apparat ist ganz gleich dem seines Vaters, nur daß die beiden durch Seide isolierten Drähte nicht wie beim Vater parallel nebeneinander, sondern umeinander gedreht über den Rahmen aufgewickelt waren und die beiden Enden der Drahtwindungen, welche beide an den —Pol der Kette geschlossen werden sollten, in ein einziges Gefäß mit Quecksilber ausliefen. Die beiden + Drahtenden gingen nicht direkt zum + Pol, sondern der eine ging zu einem Wheatstoneschen Rheostaten und von da zum + Pol, in den anderen Schluß wurde der zu untersuchende Körper eingeschaltet. Auf diese Weise untersuchte Becquerel den Widerstand verschiedener fester und flüssiger Körper und endlich auch den verschiedenen Widerstand bei verschiedenen Temperaturen. Becquerel findet, wenn R der ursprüngliche Widerstand eines Drahtes bei 0^0 ist, so ist der Widerstand bei t^0 nun

$$R^t = R(1 + \alpha t),$$

wo α für die verschiedenen Metalle verschieden ist, bei Quecksilber z. B. 0,001 040, bei Kupfer 0,004 097 etc.

Diese von Becquerel angewandte Formel ist übrigens nicht richtig. Schon ehe er an seine Versuche dachte, hatte Lenz[1]) die Leitungsfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen untersucht. Er fand auch die Leitungsfähigkeit bei steigender Temperatur abnehmend, doch war diese Abnahme nicht einfach proportional der Temperatur, sondern gehorcht dem Gesetz

$$L_t = a + b\,t + c\,t^2,$$

wenn L_t die Leitungsfähigkeit bei der Temperatur t bedeutete, a, b, c Konstante sind, deren Werte nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgerechnet wurden. Während nun bei festen Leitern bei Temperaturzunahme Abnahme der Leitungsfähigkeit konstatiert wurde, war bei den Flüssigkeiten das Gegenteil zu beobachten. Schon Marianini und Matteucci glaubten das nachgewiesen zu haben, zweifellos jedoch erst Ohm[2]) 1844 und Hankel[3]) 1846.

---

1) Pogg. Annal. Bd. 34. 1835. pag. 418; Bd. 45. 1838. pag. 105.
2) Pogg. Annal. Bd. 63. 1844. pag. 403.
3) Pogg. Annal. Bd. 69. 1846. pag. 256. Hankel, der das Differentialgalvanometer gebraucht, wickelt die Drähte nicht auf den Rahmen

Es trat nun die interessante Frage in den Vordergrund, wie ist dies verschiedene Verhalten fester und flüssiger Leiter zu erklären. De la Rive[1]) beantwortete dieselbe durch Hinweis auf die Faradaysche Unterscheidung zwischen Leitung bei festen Körpern und bei flüssigen. Er sagt, feste Körper leiten, indem die Elektrizität von Molekül zu Molekül geht; wird durch Erwärmung also die Distanz der Moleküle vergrößert, so wird die Leitungsfähigkeit geringer. Flüssigkeiten leiten nur, insofern sie zersetzt werden, also die Ionen die Elektrizität transportieren. Da die Wärme die Zersetzung befördert, tritt hier daher eine Vermehrung der Leitungsfähigkeit ein. Bei den Flüssigkeiten, wo keine Zersetzung eintritt, muß also bei Temperaturerhöhung gerade wie bei den Metallen eine Verminderung der Leitungsfähigkeit eintreten, so beim Quecksilber.

Zu beachten sind ferner die zahlreichen Versuche Faradays über den Einfluß der Temperatur. Einzelne Körper, wie z. B. Schwefelsilber, leiten in festem Zustande für gewöhnlich nicht, nur bei Temperaturerhöhung, dann auch schon vor dem Schmelzpunkt, andere leiten ursprünglich fast gar nicht, aber ganz gut wenn sie flüssig werden; dann tritt aber auch Zersetzung ein. De la Rives Versuche über den durch Temperaturverschiedenheit hervorgebrachten Unterschied des Übergangswiderstandes am + und — Pol beruhen auf Irrtum, seine Beobachtungen erklären sich als Thermoströme, wie sie Faraday beobachtete bei dem Eintauchen verschieden warmer Metallplatten in Flüssigkeiten.

296. Becquerel Sohn hat auch das Verdienst, zum ersten Male den Widerstand von Flüssigkeiten mit Berücksichtigung der durch die chemische Aktion bedingten Unregelmäßigkeiten mit dem Differentialgalvanometer gemessen zu haben. Während Pouillet und Wheatstone einfach Flüssigkeitssäulen einschalten wie feste Drähte, umgeht Becquerel die Einwirkung

---

eines Multiplikators, sondern auf einen großen Kreis nach Art einer Tangentenbussole, wodurch die Gleichheit der Wirkung der Ströme bei gleicher Intensität garantiert wird.

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 99.

der Polarisation und Zersetzung durch Einschalten von Flüssigkeitssäulen in beide Zweige seiner Leitung. Nur war in dem einen eine längere Flüssigkeitssäule eingeschaltet wie in dem anderen, und dieser Überschuß wurde ausgeglichen durch einen Draht-Rheostaten im anderen Stromkreise.

Der Apparat, wie er Becquerel diente, mag kurz erwähnt werden. In einem weiten, oben durch einen Kork verschlossenen Glascylinder befand sich die Flüssigkeit, in diese hinein ragte, von oben durch einen isolierten Leitungsdraht gehalten, eine horizontale Platinelektrodenscheibe, senkrecht über dieser Platinscheibe ragte ein beiderseits offener enger Glascylinder durch den Kork in die Flüssigkeit und in ihm befand sich eine zweite Elektrode in Gestalt einer zweiten horizontalen Platinscheibe. Diese zweite war durch den sie tragenden Draht verschiebbar, sodaß verschiedene Distanzen zwischen den beiden Elektroden, d. h. verschieden lange Flüssigkeitssäulen eingeschaltet werden konnten. Dadurch war bedingt, daß die Polarisationsströme in beiden Zweigen mit derselben Intensität auftraten, die übrig bleibende Ablenkung der Nadel hatte also ihren Grund lediglich in dem verschiedenen Leitungswiderstande der verschieden langen Flüssigkeitssäulen, der durch den Rheostaten abgeglichen wurde. Diese Vorsicht Becquerels hat man beim Gebrauche des Differentialgalvanometers stets anzuwenden.

297. Ehe ich die anderen Methoden zur Widerstandsbestimmung anführe, möchte ich hier ein anderes Galvanometer von Becquerel, dem Vater,[1]) erwähnen, welches praktisch freilich wenig Anwendung gefunden hat, welches aber um deswillen unser Interesse in Anspruch nehmen muß, weil wir darin den ersten Versuch, galvanische Kräfte durch mechanische Maße zu messen, erklicken müssen. Es ist die elektromagnetische Wage. An die beiden Arme einer Wage werden zwei gleiche cylindrische Magnete gehängt, außerdem sind an den beiden Armen kleine Wagschalen angebracht zum Auflegen von Gewichten. Gerade unter den Magneten befinden sich zwei Glasröhren, in welche die Magnete passen, die Glasröhren sind mit übersponnenen Draht umwickelt; sendet man durch diese Draht-

1) Pogg. Annal. Bd. 42. 1837. pag. 307.

windungen den Strom so, daß der eine Magnet angezogen, der andere abgestoßen wird, so verstärken sich beide Wirkungen und man liest die Größe des Ausschlages ab, oder stellt durch aufgelegte Gewichte das Gleichgewicht wieder her. Becquerel setzt die Stromstärke dann proportional den aufgelegten Gewichten. Natürlich läßt sich eine solche Wage auch als Differentialgalvanometer gebrauchen.

Nach einer Bemerkung Poggendorffs (l. c.) zu diesem Apparat hat Baron v. Wrede schon früher einen ähnlichen Apparat besessen, nur daß hier nicht Gewichte, sondern Torsion die Kraft repräsentirten. An einem horizontal aufgehangenen Wagebalken waren an seinen beiden Enden ebenfalls horizontal, aber senkrecht zur Längsrichtung des Wagebalkens zwei gleiche aber entgegengesetzt gerichtete Magnete angebracht, sodaß Astasie in Bezug auf die Wirkung des Erdmagnetismns hergestellt war. Gehen um die Enden der Magnete Drahtwindungen, so wird ebenso wie bei Becquerel Anziehung oder Abstoßung erfolgen. Man kann dann auch entweder den Ablenkungswinkel beobachten, oder durch Torsion Gleichgewicht herstellen, in beiden Fällen wird man ein Maß zur Vergleichung erhalten.

298. Der Apparat, woran Becquerel den Widerstand von Flüssigkeiten bestimmte, ist nicht sehr glücklich gewählt; da die Elektroden vertikal übereinander liegen, trifft der aufsteigende Strom der Ionen auf die obere Platte und es kommen daher große Unregelmäßigkeiten vor. Diesen Übelstand vermied Horsford,[1]) welcher einen rechtwinkligen Trog anwandte, ähnlich dem bei Jacobis flüssigen Rheostaten beschriebenen, nur fehlt die trennende Zwischenspalte. Um sich dann vor dem Polarisationsstrom zu schützen, beobachtet Horsford auf folgende Weise: Er schaltet anfangs in den Stromkreis ein das elektromotorische Element, einen Rheostaten, ein Galvanometer und die Zersetzungszelle. Es wird den beiden Platten der letzteren eine geringe Distanz gegeben und am Rheostaten ein schicklicher Widerstand eingeschaltet; die Ablenkung der Nadel sei α. Darauf wird die Distanz der Elektroden vergrößert und soviel Widerstand am Rheostaten weniger eingeschaltet,

1) Pogg. Annal. Bd. 70. 1847. pag. 238.

derselbe Ausschlag α eintritt; die Stromstärken sind jetzt gleich, also auch die Widerstände der Gesamtschließung, da die elektromotorische Kraft dieselbe ist, wie beim ersten Versuch; da die Stromstärken gleich sind, sind auch die Polarisationen in beiden Fällen gleich. Es ist daher der Widerstand der neu eingeschalteten Flüssigkeitssäule direkt gleich dem Widerstand des am Rheostaten ausgeschalteten Drahtes. Diese Methode ist von Schmidt und Wiedemann angewendet und heute allgemein üblich. Die Vorsicht ist nicht nötig bei Zinkvitriol, worin nach E. du Bois-Reymond keine Polarisation stattfindet bei Anwendung von amalgamierten Zinkelektroden, daher ist nach den Versuchen von v. Beetz[1] mit Zinkvitriol wie mit Metalldrähten zu experimentieren; da der Widerstand des Zinkvitriols sehr bedeutend ist, sind Röhren mit Zinkvitriol oft mit Nutzen als Widerstandssätze angewandt.

299. Am vorzüglichsten ist jedoch die Widerstandsbestimmung nach der Wheatstoneschen Methode. Wheatstone[2] beschreibt seinen Apparat unter der Bezeichnung Differentialgalvanometer, es ist nichts anderes als eine Stromverzweigung, wie sie von Weber bereits berechnet war und wie sie ganz ähnlich Poggendorff bereits angewendet hatte, wovon gleich die Rede sein wird (vergl. pag. 341). Wheatstone hatte diese Methode sicher schon längere Zeit angewendet, er publizierte sie erst 1845.

Wählen wir die Bezeichnung wie früher und nennen die zugehörigen Widerstände $w_1 \dots w_5$, die Stromstärken $i_1 \dots i_5$, nennen wir nun den Draht 5 den „Brückendraht“ oder die „Brücke“ und wählen den Fall, daß $i_5 = 0$ sein soll, was wir beobachten durch ein in die Brücke eingeschlossenes Galvanometer, so ist die Bedingung, wie damals gezeigt wurde, daß $\frac{w^1}{w^2} = \frac{w^3}{w^4}$ sein muß. Ist also $w_1 = w_2$, so ist auch $w_3 = w_4$. Um dies bequem zu erreichen, konstruiert Wheatstone nach beifolgendem Schema sein Differentialgalvanometer.

Auf einem Brette stehen vier Schrauben a, b, c, d an den

[1] Pogg. Annal. Bd. 117. 1862. pag. 1.
[2] Pogg. Annal. Bd. 62. 1844. pag. 535.

Ecken eines Rhombus *a* und *b*, *b* und *c* sind durch gerade, gleich lange Drähte verbunden von gleichem Querschnitt, sodaß $w_1 = w_2$ ist. Auf der Rhombenseite *ad* befinden sich zwei Klemmschrauben *e* und *f*, von denen *f* mit *a*, *e* mit *d* verbunden ist, und analog auf der Seite *cd* die Schrauben *g* mit *d* verbunden, *h* mit *c*, und es ist $af = ch$, $ed = gd$; endlich ist zwischen *b* und *d* die Brücke eingeschaltet mit dem Galvanometer *G*. Verbindet man nun *a* und *c* mit den Polen eines Elementes und schaltet zwischen *e* und *f* einen Rheostaten ein und zwischen *g* und *h* den zu bestimmenden Widerstand, so ist in 5 der Strom nur $= 0$, wenn der Widerstand zwischen *gh* dem Rheostatenwiderstande gleich ist.



Da der Widerstand eines Drahtes umgekehrt proportional dem Querschnitt ist, ist es gut, als feste Verbindungen auf dem Brette nur sehr dicke Kupferstäbe anzuwenden, da je kleiner die Widerstände überhaupt sind, um so mehr relative Verschiedenheiten ins Gewicht fallen müssen. Man kann natürlich auch die Brücke zwischen *a* und *c* legen, muß dann aber *b* und *d* mit den Polen des Elementes verbinden. Diese Einrichtung bedingt, daß der Rheostat eine Messung auch der kleinsten Größen zuläßt, wie es der Wheatstonesche that, wenn er nur nicht andere Fehler gehabt hätte. Arbeitet man mit einem Stöpselrheostaten, so kann die Beobachtung nur durch ein geeignetes Interpolationsverfahren genau werden. Doch giebt die Brücke in anderer Anordnung auch dann die genauesten Resultate.

Man ersetzte die Strecke *abc* durch ein Rheochord[1]) und die Schraube *b* durch einen verschiebbaren Kontakt, dann sei immer $\frac{w_1}{w_2} = \frac{w_3}{w_4}$. Hat man also in w_3 einen konstanten Widerstand, so ist das Verhältnis dieses zum gesuchten w_4 gleich dem Verhältnis der Abschnitte des Rheochords zwischen *a* und dem Kontakt und *c* und dem Kontakt; bringt man also unter dem als Rheochord ausgespannten Drahte (nach Matthiessen aus

1) Vergleiche Pogg. Annal. Bd. 100. pag. 178, speziell 180; Bd. 103. pag. 428; Bd. 109. pag. 526; Bd. 110. pag. 190 und 222.

einer Legierung aus 85% Platin und 15% Iridium) eine Millimeterskala an und versieht den Kontaktschieber mit einer Marke (oder Nonius), so hat man das Verhältnis $w_1 : w_2$ sofort im Verhältnis der Längen ausgedrückt. Diese Anordnung ist wesentlich vervollkommnet durch Siemens[1]), Beetz und Wiedemann. Besonders die Einrichtung, die letzterer getroffen, ist äußerst bequem zum Gebrauche.

Da beim Einklemmen von Drähten in Schrauben oft durch mancherlei Unregelmäßigkeiten schlechter Kontakt hergestellt wird, der dadurch die Wheatstonesche Methode ungenau macht, hat Thomson das Verfahren insofern geändert, als er den Brückendraht nicht direkt an die Schraube d bringt, sondern von den zu vergleichenden Widerständen einen direkten Verbindungsdraht abzweigt und von diesem die Brücke ausgehen läßt. Im Allgemeinen möchten jedoch die oben erwähnten Verbesserungen vollständig ausreichend sein.

300. Der Wert der drei Methoden, die ich zur Widerstandsbestimmung beschrieben habe, ist ein verschiedener. Jacobi[2]) hat diese Frage zuerst diskutiert. Bezeichnet $2E$ die elektromotorische Kraft des Elementes, r seinen Widerstand, $2m$ den Widerstand des Multiplikators und x den des zu messenden Drahtes, so ist für die Ohmsche oder Substitutionsmethode der Fehler der Messung, d. h.

$$\triangle x = \triangle \alpha \left(2E + \frac{(r + 2m + x)^2}{2E}\right) = \frac{\triangle \alpha . 4E}{1 - \cos 2\alpha},$$

wo $\triangle \alpha$ den Ablesungsfehler bezeichnet. Aus der zweiten Form ergiebt sich sofort, daß $\triangle x$ ein Minimum wird, wenn $\alpha = 45^0$ ist, daher diese Methode nur dann gut verwendbar, wenn die Ablenkung nahezu 45^0 beträgt (cfr. p. 368); sie ist aber auch wegen der sonst auftretenden Fehlerquellen nur in geringem Maße brauchbar: sie setzt voraus, daß E während des ganzen Versuches konstant sei und ebenfalls die Deklination; ist eines von beiden oder gar beides nicht der Fall, so ist die Beobachtung unkorrigierbar und ganz zu verwerfen.

Bei der Differentialmethode ist

1) Pogg. Annal. Bd. 110. 1860. pag. 9.

2) Pogg. Annal. Bd. 78. 1849. pag. 173, speziell 182—187.

$$\triangle x' = \frac{\triangle \alpha (2r + m + x)(m + x)}{E}.$$

Zur Vergleichung beider hat man

$$2 \triangle x (2r + m + x)(m + x) = \triangle x' \left(4 E^2 + (r + 2m + x)^2\right).$$

Das Differentialgalvanometer hat so lange den Vorzug, als $\triangle x > \triangle x'$ ist, oder so lange

$$4 E^2 + r^2 + 2 m^2 > x^2 + 2 r x,$$

d. h. durch Vergrößerung der Anzahl der Windungen erhält man, weil m vergrößert wird, einen größeren Vorzug der Differentialmethode.

Endlich bei der letzten Methode, der Wheatstoneschen, ist, wenn wir den Widerstand des festen Drahtes 1 und 2 mit y bezeichnen,

$$\triangle x'' = \frac{(r x + r y + 2 x y)(x + y + 4 m)}{2 E y} \cdot \triangle \alpha,$$

oder wenn man $y = r$ macht und beide verschwindend klein wählt gegenüber x, so ist

$$\triangle x'' = \frac{3 x (x + 4 m) \triangle \alpha}{2 E}$$

und sie verdient den Vorzug vor dem Differentialgalvanometer, solange $\triangle x' > \triangle x''$, d. h. $2 m^2 > x^2 + 8 m x$ ist. Es muß aber auch beachtet werden die Art der Fehlerquellen.

Das Differentialgalvanometer ist unabhängig von der Stromintensität, also unabhängig von Schwankungen der elektromotorischen Kraft; es ist aber vorausgesetzt, daß beide Windungen auf die Nadel in gleicher Stärke einwirken; durch Kommutation läßt sich jedoch ein Fehler in dieser Richtung wohl eliminieren. Die Weatstonesche Methode ist davon auch unabhängig. Die genauere Vergleichung durch Weber werde ich später im Zusammenhang mit den Widerstandsbestimmungen Webers und mit den Widerstandseinheiten besprechen.

301. Mit der Widerstandsbestimmung ging selbstredend Hand in Hand die Bestimmung der elektromotorischen Kraft. Auch hier ist Ohm[1]) der erste, welcher eine Methode angiebt. Er setzt bekanntlich $S = \frac{A}{nd + ml}$, wo S die ausgeübte Kraft,

1) Schweigg. Journal. Bd. 58. 1830. pag. 393. speziell 416.

d. h. die Intensität, *A* die Spannung in der Kette, d. h. die elektromotorische Kraft, *nd* die Anzahl der einfachen Abstände der Platten in den Elementen, d. h. den Widerstand der Kette, *ml* die Anzahl der einfachen Drahtlängen, d. h. den Widerstand des Schließungsbogens bedeutet. Oder in den uns geläufigen Zeichen:

$$J = \frac{E}{W + w}.$$

Bewirkt man nun bei konstant bleibendem E und W, durch Veränderung des w eine Veränderung des J, so hat man zu setzen

$$J' = \frac{E}{W + w'}; \quad J'' = \frac{E}{W + w''}$$

und erhält

$$E = \frac{J_{,} \cdot J_{,,} (w'' - w')}{J_{,} - J_{,,}}.$$

Es kommt also darauf an, die Intensitäten und Widerstände geeignet zu bestimmen. Ohm benutzt als Beispiel die Fechnerschen Beobachtungen.

Fechner[1]) selbst giebt nun aber auch Methoden zur Vergleichung elektromotorischer Kräfte. Zunächst wenn man einen Stromkreis mit zwei verschiedenen Elementen aber gleichem Widerstand bildet, so ist, da $J = \frac{E}{W}$ ist, $\frac{E}{E'} = \frac{J}{J'}$. Daß diese W gleich oder doch nahezu gleich sind, kann man, da sie die Summe der Widerstände des Elementes und des Schließungsdrahtes sind, dadurch erreichen, daß man letzteren sehr groß macht im Verhältnis zu ersterem, dann also einen Multiplikator (wie Fechner that) mit langem dünnen Leitungsdrahte, besser aber eine Tangenten- oder Sinus-Bussole mit vielen Windungen dünnen Drahtes einschließt.

Hat man einen großen äußeren Widerstand gegenüber einem kleinen Widerstand im Element, so kann man die Sache auch umkehren. Fechner beobachtete bekanntlich durch Oszillationen der Nadel, aber Ohm zeigte (l. c.), wie diese Methode doch ungenau sei. Ohne Tangentenbussole kann man J nicht wohl bestimmen; will man aber einen einfachen Multi-

1) Schweigg. Journal. Bd. 60. 1830. pag. 17.

plikator anwenden, so kann man nur die Gleichheit des J durch Einstellung der Nadel auf dieselbe Stelle bestimmen. Gleiche Einstellung erreicht man durch Einschaltung geeigneter Widerstände und hat aus derselben Formel wie oben $\frac{E}{E'} = \frac{W}{W'}$. Dies ist wohl zuerst von Wheatstone angewendet.[1])

Endlich[2]) kann man auch so verfahren, daß man die beiden zu vergleichenden Elemente erst so einschaltet, daß die durch jedes erzeugten Ströme in gleicher Richtung gehen, dann sei die Intensität J', darauf aber in entgegengesetzter, dann sei die Intensität J'' und man hat das erste Mal $J' = \frac{E+E'}{W}$; das zweite Mal

$$J'' = \frac{E-E'}{W}; \text{ also } E' = \frac{J'-J''}{J'+J''}.E.$$

Alle diese Methoden sind eigentlich nur auf konstante Elemente anwendbar, und wenn sie ursprünglich auch von Fechner und Ohm auf inkonstante Elemente angewendet wurden, so war es doch kein zuverlässiges Resultat, was man erzielen konnte. Poggendorff schreibt deswegen mit Recht 1841: Bisher ist die elektromotorische Kraft noch von keinem Elemente mit einer Flüssigkeit wirklich bestimmt.

302. Der Gedankengang, der Poggendorff[3]) nun leitete bei Erfindung seiner berühmten Kompensationsmethode, ist der: Da zu jeder Messung Zeit gehört, aber die Abnahme der Kraft in inkonstanten Ketten sofort eintritt, ist es nicht möglich, durch direkte Messungen die Kraft zu bestimmen, es ist daher nur möglich, durch eine konstante Kraft den Strom, der durch die inkonstante Kette erzeugt wird, im Moment der Schließung zu vernichten („zu kompensieren"). Dazu wollte Poggendorff anfangs elektromagnetische Maschinen verwenden, in Ermangelung dieser bot ihm die Stromverzweigung ein geeignetes Mittel, eine konstante Kette dazu zu verwerten. Hat man in nebenstehendem Schema in den ächten Drähten

1) Pogg. Annal. Bd. 62. 1844. pag. 517.
2) Schweigg. Journal. Bd. 60. 1830. pag. 23, und Poggendorff in Pogg. Annal. Bd. 55. 1842. pag. 50.
3) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 172.

	0	1	2
die elektromotorische Kraft . . .	—	K'	K''
den Widerstand	r	r'	r''
die Stromstärke, wenn nur 1 wirkt	i	i'	i''
die Stromstärke, wenn nur 2 wirkt	i_1	i_1'	i_1''
die Stromstärke, wenn beide wirken	J	J'	J''

so sind, wenn man unter s den Wert $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}$ versteht, nach den Gesetzen der Stromverzweigung in den einzelnen Zweigen zunächst die Intensitäten gegeben. Man hat dann die Gleichungen

$$J = \frac{1}{s \, . \, r}\left\{\frac{K'}{r'} + \frac{K''}{r''}\right\}; \quad J' = \frac{1}{s r'}\left\{\frac{K'(s r''-1)}{r'} - \frac{K''}{r''}\right\};$$

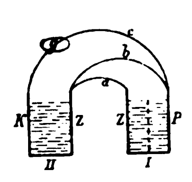
$$J'' = \frac{1}{s r''}\left\{\frac{K''(s r''-1)}{r''} - \frac{K'}{r'}\right\}.$$

Setzt man nun $J'' = 0$, so ist

1) $K'' = \frac{r}{r + r'} . K'$, und $J' = J = \frac{K'}{r + r'}$ oder

2) $K'' = r . J.$

Entsprechend diesen beiden Gleichungen 1 und 2 hat man zwei Methoden. Die erste in beifolgendem Schema entworfene, hat folgendes Verfahren: I sei ein Grovesches Element, II ein Kupfer-Zink-Element mit angesäuertem Wasser, also inkonstant, die Drähte a, b, c entsprechen der Reihe nach den Drähten 1, 0, 2 der obigen Tabelle. Es ist also in den Draht c ein Galvanoskop einzuschalten, sobald dann der Widerstand des Drahtes a + dem Widerstande des Elementes w, welche zusammen den Widerstand r' ausmachen, im richtigen Verhältnis steht zu dem Widerstande r in b, so ist der Strom in $c = 0$, und in G ist bei momentaner Verbindung des Drahtes c mit dem Kupfer in II kein Ausschlag. Man schaltet also in b einen Rheostaten, respektive auch in a einen solchen ein und hat dann, wenn der Ausschlag in G gleich Null ist, nach Formel 1) $K'' = \frac{r}{r + r'} . K'$. Hierbei ist die Bestimmung des Widerstandes der konstanten Kette w, welcher ein Teil des Widerstandes r' ist, schwierig und er

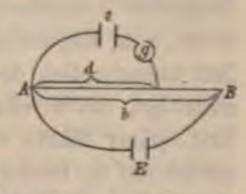


selbst mit der Zeit variabel, daher ist die Anwendung der zweiten Formel ratsamer, da darin r' nicht vorkommt. Da ist aber nötig, die Stärke des Stromes in b genau zu kennen, zu dem Zweck hat man in b eine Tangenten- (oder Sinus-) Bussole einzuschalten und hier den Ablenkungswinkel α zu beobachten, dann ist 2) $K'' = r \,.\, J$ oder $= r c$ tang. α $(= r c'$ sin. $\alpha)$, (wo c und c' die Konstanten der Bussolen sind).

Es ist noch beachtenswert, daß Polarisationswirkungen[1]) störend einwirken, deshalb ersetzt man das Grovesche Element besser durch das Bunsensche, da die mit Gas beladene Kohle eine geringere elektromotorische Kraft hat, als das beladene Platin.

303. Diese Poggendorffsche Methode ist bis auf den heutigen Tag in ihren verschiedenen Modifikationen die beste, um nicht zu sagen die einzige, welche für inkonstante Kräfte angewendet werden darf, die aber auch zur Vergleichung konstanter Elemente ein möglichst gutes Verfahren bietet. Verbessert ist dieselbe besonders durch Du Bois-Reymond[2]) und Beetz[3]). Das Verfahren ist dann folgendes: An die Stelle des Drahtes b tritt ein gerade ausgespannter Platindraht, dessen Widerstand in seiner ganzen Länge mit b bezeichnet werde. Der Draht c schließt aber nicht direkt an das Ende von b an, sondern durch einen Kontakt irgendwo, sodaß die Länge d von b abgeschnitten wird. Dann ist, wenn E die elektromotorische Kraft des Normalelementes, e die des zu bestimmenden ist,

$$e = \frac{d}{w + b} \,.\, E,$$



wenn w der Widerstand der Leitung AEB ist. Will man den eliminieren, so macht man noch eine zweite Bestimmung, indem man bei A an den Draht AB noch den Widerstand a einfügt, dann ist, damit der Strom wieder in $G = 0$ sei, die neue Länge d' einzuschalten und man hat

1) Pogg. Annal. Bd. 55. 1842. pag. 43.
2) Abhandlungen der Berl. Akad. 1862. pag. 707.
3) Pogg. Annal. Bd. 142. 1871. pag. 573.

$$e = \frac{d' + a}{w + a + b} \cdot E.$$

Diese Methode giebt also auch ein vorzügliches Mittel, den Widerstand galvanischer Elemente zu finden. Der Draht AB heißt dabei Stromkompensator und läßt sich nach Du Bois-Reymond auch kreisrund auf dem Rande einer Ebonitscheibe darstellen. Man verwendet auch mit Nutzen das Universalgalvanometer von Siemens, oder den Universalkompensator zu diesen Messungen; endlich giebt Wiedemann[1]) eine Modifikation mit der Wheatstoneschen Brücke. Prinzipiell sind diese Bestimmungsarten nicht von der Poggendorffschen verschieden.

Ehe wir uns nun den absoluten Messungen Webers zuwenden können, müssen wir eine Entdeckung in Bezug auf die zwischen Elektrizität und Magnetismus auftretenden Kräfte, sowie über die Elektrizität in ihrer Wirkung auf sich selbst nachholen und haben da auf das Jahr 1830 und noch weiter zurück zu gehen.

Zwölftes Kapitel.

Induktion.

304. In einem Eisenstab, welcher von einem Strom umflossen wurde, ward Magnetismus erzeugt; diese erste, von Arago entdeckte Thatsache hatte ja den Strom als einen Magneten erscheinen lassen; man redete dann, wie bei Seebeck, vom Magnetismus der galvanischen Kette. Auch Ampère ließ ursprünglich den Strom als Erzeuger der Molekularströme auftreten, aus welchen er sich den Magneten bestehend dachte. Erst später führte er die ganze Erzeugung der Magnetisierung zurück auf die Drehung der schon vorhandenen Molekularströme. Erst spät bemächtigte sich die Technik der Aragoschen Entdeckung. Noch im Jahre 1830 schrieb Pfaff[2]) einen gelehrten Aufsatz über die Konstruktion eines hufeisenförmig gebogenen Elektromagneten, welcher durch ein einziges Zink-Kupferelement

1) Lehre von der Elektrizität. I. 1882. pag. 649.

2) Schweigg. Journ. Bd. 58. 1830. pag. 273.

eine solche Stärke erhielt, daß er 10 Pfd. tragen konnte, und dessen Einrichtung er bei dem Londoner Physiker F. Watkins kennen lernte. Näher auf die bei der Erzeugung von Elektromagneten auftretenden Gesetze, wie sie besonders von Lenz und Jacobi sowie Dub untersucht sind, ist hier nicht der Ort einzugehen, sie gehören mehr in die Lehre vom Magnetismus; nur mag das Lenzsche Gesetz[1]) erwähnt werden: Die Anziehung zwischen einem Anker und Elektromagneten (oder zweier Elektromagnete, welche durch Ströme von gleicher Intensität magnetisiert werden) ist dem Quadrat der Intensität des Stromes proportional, solange sich das magnetische Moment noch nicht einem Maximum nähert. Bei stärkeren Strömen nähert sich das Moment der Stäbe einem Maximum, über welches es nicht hinauskommt nach Joule[2]).

305. In dem dritten Decennium dieses Jahrhunderts interessierten mehr die Ablenkungsbeobachtungen und Rotationserscheinungen. Unter diesen war es eine Entdeckung Aragos, welche den Grund zu den hier zu besprechenden Entdeckungen Faradays bildete. Im November 1824 beobachtete Arago zwei Thatsachen: 1) daß eine Magnetnadel, welche in Schwingungen gesetzt war, viel schneller zur Ruhe kam, wenn sie über einer Metallfläche, als wenn sie über Nichtleitern sich befand; 2) daß eine Magnetnadel aus der Ruhelage abgelenkt wurde, wenn eine Metallscheibe in ihrer Nähe in Rotation versetzt wurde, respektive daß ein Magnetstab je nach seiner Lage von einer rotierenden Metallscheibe angezogen oder abgestoßen wurde. Arago faßt diese Erscheinungen zusammen unter dem Namen „Rotationsmagnetismus".

Die ersten Versuche Aragos[3]) beschäftigten sich mit horizontalen Scheiben und horizontal schwingenden Magnetnadeln. Die Nadel wurde an einem Seidenfaden mitten über die Metallplatte gehängt. Nun wurde die Nadel abgelenkt und

---

1) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. p. 401.

2) Phil. Mag. 1839. T. II. pag. 310.

3) Annales de Chim. et de Phys. Bd. 27. 1824. pag. 363, und Pogg. Annal. Bd. III. 1825. pag. 344. Die zweite Arbeit in Annal. de Chim. et de Phys. Bd. 32. 1826. pag. 213, hierin die Note über Duhamels Erklärung auf pag. 216.

beobachtet, wieviel Schwingungen nötig waren, damit die Amplitude der Schwingung um eine bestimmte Größe verringert wurde, erstens bei unterstehender Metallplatte, zweitens bei unterstehender nicht leitender Platte (etwa Glas oder Marmor). Dann ließ Arago die Nadel ruhig stehen und setzte die Metallscheibe in schnelle Rotation; dann erfolgte Ablenkung der Magnetnadel im Sinne der Rotation, ja bei geeigneten Verhältnissen konnte die Nadel gar mit zur Rotation gebracht werden.

Diese Beobachtungen wurden aller Orten wiederholt, besonders von Nobili, Herschel, Babbage, Prevost und in Deutschland besonders von Seebeck. Sie alle brachten die Erscheinung mit der von Coulomb 1812 angestellten Untersuchung über das Verhalten aller Körper gegenüber dem Magnetismus in Verbindung. Auch Arago selbst war anfänglich dieser Ansicht und schloß sich zunächst einer Erklärung Duhamels an, die dieser am 27. Dezember 1824 der Akademie in Paris vortrug, wonach der Pol der Nadel in den gegenüberliegenden Teilen der Scheiben den entgegengesetzten Magnetpol erzeugen sollte und deswegen angezogen wurde. Diese Erklärung war auch richtig in Bezug auf Eisenplatten, allein für die anderen Scheiben stellte sich die Sache doch anders.

Seebeck[1]) beobachtete z. B., daß eine Magnetnadel von $2^1/_8''$ Länge, $3'''$ hoch über dem Körper schwingend, aus einer Amplitude von 45^0 zurückkam auf eine Amplitude von 10^0, wenn der untergestellte Körper war

			nach Schwingungen				nach Schwingungen
Marmor			116	Zink	0,5'''	dick	71
Quecksilber	2'''	dick	112	Zinn	1,0'''	„	68
Platin	0,4'''	„	94	Kupfer	0,3'''	„	62
Blei	0,75'''	„	89	Silber	0,3'''	„	55
Gold	0,2'''	„	89	Eisen	0,4'''	„	6

Eisen nimmt in dieser Reihe offenbar eine ganz besondere Stelle ein und zwar wegen des induzierten Magnetismus.

Auch Legierungen untersucht Seebeck und kommt endlich zu dem Schluß, für Konstruktion von Bussolen eine Legierung aus Kupfer und Nickel zu empfehlen, da dies die Schwingungen

1) Pogg. Annal. Bd. 7. 1826. pag. 203.

der Nadel sehr bald zur Ruhe bringe. Jedenfalls ein beachtenswerter Vorschlag, meines Wissens der erste, welcher in Bezug auf die „Dämpfung" gemacht ist, selbst wenn man bedenkt, daß Gauß, Weber und Wiedemann reines Kupfer anwandten zur Dämpfung, da Nickel ja auch magnetisch ist. Seebeck konnte diese Bedenken gegen Nickel nicht hegen, da er der Ansicht war, daß die ganze Wirkung der Dämpfung lediglich in inducìertem Magnetismus in den Metallscheiben zu suchen sei. Ich bemerke jedoch, daß man bei Seebeck nicht sicher ist, ob er nicht mit diesem Magnetismus elektrische Ströme meint. Schon früher habe ich darauf aufmerksam gemacht, daß Seebeck stets von „Magnetismus" des Drahtes in der galvanischen Kette und dergleichen spricht. Und besonders deswegen glaube ich, daß auch in dieser Arbeit dem Verfasser etwas ähnliches wie elektrische Ströme vorgeschwebt haben muß, da er von jener Legierung ausdrücklich sagt, sie werde „durch Verteilung nicht magnetisch" (l. c. pag. 215).

Jedenfalls glaubten Nobili etc., daß einfach der in den Platten erzeugte Magnetismus die Ursache der Erscheinung sei. Arago[1]) selbst widerlegte diese Ansicht gegen Nobili und Bacelli $1^1/_2$ Jahr nach seiner ersten Arbeit, indem er zeigt, daß eine solche Hypothese den Experimenten genau widerspricht. Er zeigt zunächst, daß die auf der Platte senkrechte Komponente der wirkenden Kraft nicht attraktiv ist, wie die Hypothese verlangen würde, sondern repulsiv, und das zeigt er an einer neuen Anordnung des Versuchs. Er hängt einen ziemlich langen Magnetstab vertikal mit dem Nordpol nach unten über der rotierenden Kupferplatte auf an einem Arm eines Wagebalkens. Man stellt an der am anderen Arm hängenden Wagschale Gleichgewicht durch Gewichte her, sodaß der Magnet balanciert ist, und setzt die Kupferscheibe in schnelle Rotation; jetzt wird der Wagebalken mit dem Magneten in die Höhe gehen, d. h. der Magnet ist nicht angezogen, wie er das werden müßte, wenn ihm in der Platte ein Südpol gegenüberläge, sondern wird abgestoßen. Zu demselben Zweck bedient sich Arago auch der Inklinationsnadel. Dies führte Arago

1) Annal. de Chim. et de Physique. Bd. 32. 1826. pag. 213.

dazu, bei der Wirkung der rotierenden Scheibe auf den Magnetpol drei Komponenten zu unterscheiden, eine vertikal auf der Scheibe (immer abstoßend), eine tangential zur Scheibe in ihrer Ebene und die dritte in der Richtung des Radius. Dann fand er drei verschiedene Lagen der Einstellung der Nadel: hing dieselbe nahe dem Mittelpunkt der Scheibe, so wurde sie nach diesem hin abgelenkt. In einer weiteren bestimmten Entfernung vom Mittelpunkt fand sich eine Stelle, wo die Nadel in Ruhe blieb, und darüber hinaus wird sie nach dem Rande der Scheibe hin abgelenkt. Übrigens hatte sich Arago den Engländern gegenüber seiner Priorität besonders energisch zu sichern, kein geringerer wie Brewster suchte dieselbe für seine Landsleute geltend zu machen, jedoch ohne jeden rechtlichen Grund. Arago versichert bei der Gelegenheit sogar, daß ihn diese Experimente schon seit 1822 beschäftigt hätten.

Arago giebt den Grund für diese letzten Erscheinungen nicht an, ebensowenig thun dies aber die anderen gleichzeitigen Experimentatoren. Doch ist durch diese die experimentelle Kenntnis des Vorganges wesentlich gefördert und Faraday erheblich vorgearbeitet. Prevost und Colladon[1] beobachteten, daß eine zwischen die rotierende Scheibe und die Nadel gebrachte Eisenscheibe oder andere Metallscheibe, welche sich in Ruhe befindet, entweder, wie beim Eisen, die Wirkung vollständig aufhebt, oder doch schwächt; daß die Rotation der Nadel am leichtesten zu erreichen ist, wenn man die Wirkung des Erdmagnetismus ganz aufhebt, wie bei der Trémeryschen astatischen Nadel, bei welcher zwei gleichstarke Nadeln mit gleichen Polen in die Enden eines Elfenbeinstückes eingelassen sind, sodaß sie entgegengesetzt liegen und die ganze Nadel an den Enden zwei gleiche Pole und in der Mitte ebenfalls zwei gleiche Pole hat; daß die Wirkung von einer horizontalen Drahtspirale an Stelle einer Scheibe bedeutend geringer ist; daß endlich die Wirkung der Scheibe wächst mit der Dicke derselben bis zu einer bestimmten Grenze, solange nämlich die Dicke der Scheibe klein ist gegen ihren Abstand von der Nadel. Dasselbe beobachtete auch Seebeck.)

1 Bibl. univer. Bd. 29. 1825. p. 316.

Christie[1]) konstatierte, daß die Wirkung ein und derselben Scheibe auf verschiedene Nadeln proportional dem Quadrat des magnetischen Moments der Nadel sei, und daß Scheiben, welche bogenförmige Einschnitte haben, sodaß nur vier aufeinander senkrechte Radien uneingeschnitten bleiben, um so schwächer wirken, je mehr Einschnitte vorhanden sind.

Dahin gehören auch die Entdeckungen von Herschel und Babbage[2]), daß, wenn man in eine solche rotierende Scheibe Einschnitte in der Richtung des Radius macht, die Wirkung der Scheibe geschwächt wird, und wenn man die Einschnitte zulötet, die nunmehrige Wirkung von der Leitungsfähigkeit des angewandten Lotes abhängt; daß die Wirkung überhaupt abhängt direkt von der Leitungsfähigkeit der Metallscheiben; daß endlich die Sache sich auch umkehren läßt, d. h. daß bei einem kräftigen rotierenden Hufeisenmagneten eine zwischen den Polen angebrachte Scheibe in dieselbe Rotation versetzt wird, und daß in Bezug auf diese Scheibe dasselbe gilt, wie eben für die umgekehrte Wirkung ausgesprochen ist, d. h. daß ausgeschnittene Scheiben weniger gut folgen wie unverletzte etc. Ich sagte, diese alle hätten Faraday vorgearbeitet, er verfährt jedoch durchaus selbstständig bei der Untersuchung der Aragoschen Entdeckungen.

306. Da Ampère gezeigt hatte, daß eine von einem Strom umflossene Ebene in ihren Wirkungen identisch ist mit einem Magnetpol, war es ganz natürlich, daß, was soeben für Magneten beobachtet war, sich auch zeigen mußte bei Stromkreisen. Diesen Nachweis lieferte einerseits Pohl, andererseits Ampère. Pohl[3]) ließ unter dem Ampèreschen beweglichen Bügel eine Kupferscheibe rotieren und sah den Bügel der rotierenden Scheibe folgen in dem Sinne, wie der Magnet derselben folgt. Ampère[4]) zeigte dasselbe an seiner beweglich aufgehangenen Drahtspirale, unter welcher er ebenfalls eine rotierende Kupferscheibe anbrachte; auch konnte er hier eine völlige Rotation der Spirale hervorbringen.

---

1) Phil. Trans. 1825 und 1827. I.
2) Phil. Trans. 1825. pag. 481.
3) Pogg. Annal. Bd. 8. 1826. pag. 395.
4) Pogg. Annal. Bd. 8. 1826. pag. 518.

Es ist wunderbar, daß Ampère, der geniale Forscher, nicht auf die Inversion seines Versuches kam und die Verzögerung oder das Mitherumziehen von Seiten der Platte, statt durch Magnetismus, durch Ströme erklärte, was ihm doch bei seiner ganzen Richtung so unendlich nahe lag.

Ich erinnere an die frühere, zehn Jahre vorher publizierte Leistung Faradays, wo er durch einen festen Strom Rotation eines Magneten bewerkstelligte; jetzt war es gewissermaßen das Inverse, was er suchte. Es sollte durch Rotation eines Magneten in einem geschlossenen Leiterkreise ein Strom erzeugt werden oder, was dasselbe ist, bei feststehenden Magneten und bewegtem Leiterkreise sollte ein Strom erzeugt werden. Die letztere Anordnung führte Faraday[1]) zum Ziele.

Zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten konnte eine vertikale Kupferscheibe in Rotation versetzt werden, sodaß ihre Ebene senkrecht stand auf der Ebene des Magnets; jetzt entstehen Ströme vom Centrum zum Rande der Scheibe hin, welche man am Galvanometer sichtbar machen kann dadurch, daß man die Achse der Scheibe einerseits, den Rand derselben anderseits mit den Enden des Galvanometerdrahtes verbindet, oder auch indem man zwei ungleich weit vom Mittelpunkt entfernte Stellen der Scheibe durch schleifende Federn ableitend berührt; dann zeigt das Galvanometer einen Zweigstrom des in der Scheibe befindlichen an. Die Richtung des Stromes ist vom Mittelpunkt zum Rande, wenn der Nordpol vor der Scheibe liegt und die Rotation derselben von unten zum Pole hin gerichtet ist. Die Richtung verwandelt sich in die entgegengesetzte, wenn entweder der Nordpol mit einem Südpol vertauscht wird, oder wenn die Rotation in entgegengesetztem Sinne erfolgt. Daß die Lage des Poles einen wesentlichen Einfluß auf die Ströme hat, zeigt Faraday an einer anderen sehr einfachen Anordnung. Die Scheibe wird durch ein Übergewicht an einem Punkt des Randes zu einem Pendel gemacht; läßt man es dann schwingen und nähert von der einen Seite einen Nordpol, von der anderen einen Süd

1) Exper. Research. Ser. I und Ser. II. 1831 und 1832. Teilwe auch Pogg. Annal. Bd. 25. 1832. pag. 92. und 142. Es ist im folgen ...cht ganz die Reihenfolge wie bei Faraday beibehalten.

pol, so wirken beide in gleichem Sinne induzierend und die Schwingungen der Scheibe nehmen schnell ab; nähert man dagegen von beiden Seiten Nordpole, so heben sich die induzierten Ströme wieder auf und die Schwingungen der Scheibe vollziehen sich, als wenn gar keine Magnete da wären. Daß man es dabei wirklich nur mit Strömen zu thun hat, beweist der Vorgang bei einer schwingenden Eisenscheibe. Die Verzögerung durch Einwirkung zweier von verschiedenen Seiten genäherter Nord- und Südpole ist nur gering, weil die Leitungsfähigkeit für die induzierten Ströme im Eisen gering ist; nähert man dagegen von beiden Seiten gleiche Pole, so wird die Schwingung fast sofort aufgehoben, da nun an der Stelle, welche zwischen den Polen liegt, ein entgegengesetzter Pol erzeugt und die Scheibe herangezogen wird.

Ein weiterer wichtiger Schritt war es, daß Faraday nicht bloß zeigte, daß bei relativer Bewegung zwischen einem Magneten und einem Leiter ein Strom entsteht, sondern auch, daß entstehender und verschwindender Magnetismus einen Strom erzeugt. Zu dem Zwecke bediente sich Faraday eines Eisenringes, den er an einer Stelle mit einer Drahtspule umgab, deren Enden mit den Polen eines galvanischen Elementes in Verbindung gesetzt werden konnten. An der diametral gegenüberliegenden Seite des Eisenringes brachte Faraday ebenfalls eine Drahtspule an, deren Enden zu einem Galvanometer führten. So oft nun der Strom in dem Elemente geschlossen wurde, zeigte das Galvanometer einen kurz dauernden induzierten Strom in der zweiten Drahtspule an; beim Öffnen erschien ebenfalls ein Strom, aber in entgegengesetzter Richtung. Den Strom der ersten Spirale nennt Faraday den primären oder induzierenden, den der zweiten Spirale den magnetoelektrischen. Man kann dies Experiment auch so machen, daß man die zweite Spirale auf den Anker eines Elektromagneten windet, die Erscheinung bleibt dieselbe.

Von Nobili[1]) wurde der Versuch so abgeändert, daß man den mit Draht umwickelten Anker eines Elektromagneten bei geschlossenem Strom abreißt oder anlegt. Bei beiden Operationen ergiebt

1) Pogg. Annal. Bd. 24. 1832. pag. 461.

sich ein kurzer induzierter Strom, aber in entgegengesetzten Richtungen. Dasselbe Resultat bleibt natürlich, wenn statt des Elektromagneten ein natürlicher Magnet gewählt wird und der Anker desselben, ebenso mit einer Drahtspule umgeben, angelegt und entfernt wird. Ein weiterer Fortschritt war die Bemerkung, daß es nicht nötig ist, den Anker anzulegen oder abzureißen, sondern daß schon ein schnelles Nähern oder Entfernen genügt, um dieselben Ströme zu erhalten, was ja natürlich war, da es schon seit Gilbert bekannt war, daß die Polarität des genäherten Eisens nicht erst beim Anlegen an einen Magneten entsteht.

Noch auf andere Weise machte Faraday[1]) die Entstehung des Stromes sichtbar, er schaltete nicht ein Galvanoskop in den Leitungsdraht der auf dem Anker befindlichen Drahtspule ein, sondern ließ das eine Ende des Drahtes in einer kleinen Kupferscheibe endigen, die amalgamiert war, während das andere Ende, scharf zugespitzt, ebenfalls amalgamiert auf die Platte leicht aufgedrückt wurde; sobald der Anker abgerissen oder angelegt wurde, entfernte sich die Spitze ein klein wenig von der Platte durch die Erschütterung, und der gleichzeitig entstehende Strom verriet sich durch den überspringenden Funken.

Da der Strom in diesen eben besprochenen Fällen durch entstehenden und verschwindenden Magnetismus erzeugt wurde, muß es als eine neue Thatsache angesehen werden, daß auch ein genäherter oder entfernter Magnet dieselben Erscheinungen hervorruft. Steckt man nach Faraday in eine hohle geschlossene Drahtspule einen Magneten mit einem Polende hinein, so entsteht ein Strom, beim Herausziehen ebenfalls, aber in entgegengesetzter Richtung. Die Richtung der Ströme ist eine umgekehrte, wenn man den hineingesteckten Pol vertauscht mit dem entgegengesetzten, sodaß genäherter Nordpol denselben Strom erzeugt, wie entfernter Südpol, und entfernter Südpol, wie genäherter Nordpol. Hieraus ergiebt sich eine einfache Art der Verstärkung der Induktion durch Anwendung von zwei Spulen und Hufeisenmagneten. Hat man zwei gleiche

---

1) Die folgenden Entdeckungen befinden sich in den Experim. res. S. II.

gleichgerichtete Drahtspulen und schiebt in die eine den Nordpol eines Hufeisenmagneten, in die andere den Südpol, so entstehen zwei gleiche entgegengesetzte Ströme, diese kann man summieren, indem man das Anfangsende der Drahtspule II mit dem Enddrahte von I und den Enddrahte von II mit dem Eintrittsende von I verbindet. Dasselbe Resultat erzielt Faraday, indem er die von Ampère erfundenen Rechts- und Linksgewinde gebraucht, also etwa für den Nordpol ein Rechtsgewinde, für den Südpol ein Linksgewinde anwendet und die gleichartigen Enden verbindet, dann sind die Stromrichtungen in beiden Spulen beim Hineinstecken und auch beim Herausziehen identisch.

Die ungleiche Wirkung der Pole und die Möglichkeit der Summierung dieser Wirkung zeigte Faraday noch an einem andern, sehr drastischen Beispiele. Wenn bei dem Aragoschen Versuch die Nadel seitlich aufgefangen wurde, z. B. mit dem Nordpol über dem Rande der rotierenden Scheibe, so erfolgte eine Ablenkung im Sinne der Rotation; hing man nun ein astatisches Nadelpaar auf, stellte aber die Nadeln so, daß beide Nordpole nach derselben Seite zeigten, der eine über, der andere unter der rotierenden Scheibe schwebend, so erfolgte keine Ablenkung, ließ man dagegen die astatischen Nadeln in ihrer gewöhnlichen Lage, sodaß der Nordpol über, der Südpol unter der Scheibe war, so verstärkten sich die Wirkungen auf die beiden Nadeln und die Ablenkung wurde verstärkt.

Im Artikel 198 wendet sich Faraday ferner der Frage zu, welchen Einfluß hat die Beschaffenheit des Drahtes, in welchem ein Strom induziert werden soll. Er wickelte zu dem Zweck auf einen Eisenkern zwei parallel nebeneinander liegende, von einander isolierte Drähte aus verschiedenem Material auf und zwar so an ihren Enden verbunden, daß die Richtung der in den beiden Spiralen induzierten Ströme in dem Verbindungsdraht entgegengesetzt lief. Schaltete er nun in den Verbindungsdraht ein Galvanoskop ein, so war unter diesen Umständen kein Ausschlag zu bemerken, d. h. die elektromotorische Kraft, welche durch Magnetinduktion erzeugt wird, ist unabhängig von dem Stoffe des Drahtes. Später ist

dies und eine Reihe anderer Gesetze von Lenz ausführlicher begründet, ich werde seiner Zeit darauf zurückkommen.

Ich habe diese „Magnetinduktion“ zuerst behandelt, weil sie sich direkt an Aragos Versuche anschließt, obgleich sie nicht zu Anfang der Exper. res. steht. Faraday stellt nämlich voran die Untersuchungen, welche eine Folge seiner vorweg gebildeten Ansicht waren, daß man es bei dem Aragoschen Rotationsmagnetismus mit elektrischen Strömen zu thun habe, und daher stellte er zunächst Versuche an, welche jeden Gedanken an Magnetismus ausschließen mußten, indem er nur galvanische Ströme benutzte.

307. Auf eine hölzerne Walze wickelte Faraday[1]) einen 62 Meter langen Draht, sodaß zwischen den einzelnen Windungen Platz blieb, einen zweiten Draht, vom ersten isoliert aufzuwickeln. Die Enden des ersten Drahtes verband er mit den Polen einer Kette, während die Enden des zweiten zu einem Galvanometer geleitet wurden. Sobald er den galvanischen Strom der ersten Spirale schloß, zeigte sich im Galvanometer eine Ablenkung der Nadel; sobald der galvanische Strom der ersten Spirale geöffnet wurde, eine Ablenkung im entgegengesetzten Sinne, d. h. in der zweiten Spirale waren beide Male Ströme aber in entgegengesetzter Richtung induziert, und zwar war die Richtung des induzierten Stromes beim Schließen des primären der Richtung dieses entgegengesetzt, während beim Öffnen ein dem verschwindenden gleichgerichteter Strom induziert wurde. Während der Dauer der Stromschließung machte sich keinerlei Strom in der zweiten Spirale bemerkbar. Dieser induzierte Strom war so stark, daß es Faraday sogar gelang, Stahlnadeln, welche von ihm in mehreren Windungen umkreist wurden, zu magnetisieren, während die chemischen Wirkungen nachzuweisen ihm anfangs nicht gelingen wollte. Jedoch zeigten sich auch diese, als er die zugespitzten Drahtenden der zweiten Spirale in geringer Entfernung von einander auf Papier, mit Jodkalium-Kleister überzogen, setzte; da zeigte sich beim Schließen am einen Drahtende der charakteristische

1) Esper. resear. I. und Pogg. Annal. Bd. 25. 1832. pag. 92.

blaue Fleck, durch die Zersetzung des Jodkaliums hervorgerufen, beim Öffnen am andern Ende. Stärker wird die Wirkung bei den später zu beschreibenden größeren Induktionsapparaten. Die Induktion durch einen solchen galvanischen Strom nennt Faraday die Volta-Induktion, im Gegensatz zu der oben beschriebenen Magnetinduktion.

Gerade so wie bei der Magnetinduktion es nicht nötig war, einen Magneten zu erzeugen oder zu vernichten, so genügt auch hier die Näherung oder Entfernung eines Stromkreises. Faraday läßt den primären Stromkreis feststehen und nähert demselben eine Drahtrolle oder entfernt sie von ihm. Um hierbei genügend starke Induktionsströme zu erhalten, ist es notwendig, eine Drahtrolle vom primären Strom durchlaufen zu lassen. Während die induzierte Rolle auf diese aufgeschoben wird, entsteht ein Strom gleichgerichtet mit dem obigen Schließungsstrom und beim Herunterziehen ein solcher, welcher mit dem Öffnungsstrome gleiche Richtung hat.

308. Bringt man mit diesen experimentellen Thatsachen nun die Ampèresche Theorie des Magnetismus in Verbindung, so erscheint Magnetinduktion und Voltainduktion in der innigsten Harmonie. Nach Ampère ist der fertige Magnet die Summe von lauter parallel gerichteten Molekularströmen, welche beim Magnetisieren sich in diese parallele Lage begeben. Soll also entstehender Magnetismus Ströme induzieren, so ist das dasselbe, als wenn eine große Anzahl Ströme sich bewegen und dadurch auf einen benachbarten Leiterkreis Induktion ausüben. Es wird also der induzierte Strom bei erzeugtem Magnetismus eine Richtung haben, die entgegengesetzt ist der Richtung der hypothetischen Molekularströme, deren Richtung kann man sich ja leicht konstruieren nach der Ampèreschen Regel, daß der Nordpol linker Hand liegt vom Stromkreise. Aus dieser Anschauung ergiebt sich sofort die Richtung der Induktionsströme, sowohl für entstehenden wie genähertem Nordpol und ebenso für verschwindenden oder entfernten Nordpol.

309. Nach alle dem wird man imstande sein, die in einer Scheibe auftretenden Strömungen bei den Aragoschen

Versuchen zu konstruieren. Diese Arbeit ist zuerst von Nobili[1]) an beifolgendem Schema gegeben.

Bezeichnet a den Rand der rotierenden Scheibe und der daran liegende Pfeil den Sinn dieser Rotation, $N S$ die darüber hängende Nadel, so glaubt Nobili, die durch $b c$, $b' c'$ angedeuteten Ströme in der Richtung der Pfeile nachgewiesen zu haben, sodaß die symmetrisch zur Richtung der Nadel liegenden Stromzweige sich in S vereinigen, um parallel der Nadel bis N zu verlaufen, um sich dann wieder zu verzweigen.



Bei dieser Figur muß die Rotation der Scheibe aber langsam stattfinden, sobald dieselbe schneller wird, erfolgt eine Verschiebung der Vereinigungs- und Verzweigungspunkte im Sinne der Rotation, sodaß dann die Zweige $b b'$ und $c c'$ nicht symmetrisch liegen zu $N S$, sondern etwa zu der Linie $g h$, sodaß es scheint, als ob die Induktionsströme zu ihrer Entstehung eine gewisse Zeit erforderten. Mittels dieser Strömungskurven erklärte Faraday[2]) dann die beiden Komponenten vertikal zur rotierenden Scheibe und in der Richtung des Radius, welche von Arago beobachtet waren.

Später hat Matteuci[3]) diese Kurven für verschiedene Lagen der Magnetpole untersucht und nachgewiesen, daß die Kurven in den einzelnen Fällen einen sehr komplizierten Charakter haben, und findet z. B. in dem Nobilischen Falle statt der zwei geschlossenen Stromteile deren vier. Genauer darauf einzugehen möchte zu weit führen, es genügt, erwähnt zu haben, daß mit den Kurven die verschiedenen Ablenkungen der Magnetpole, welche beobachtet sind, nach der Ampèreschen Regel erklärt werden können.

310. Faraday[4]) blieb übrigens nicht dabei stehen, nur die Magnetinduktion durch künstliche Stahlmagneten oder Elektromagneten nachgewiesen zu haben, er knüpfte daran auch

1) Pogg. Annal. Bd. 27. 1833. pag. 426.

2) Exper. resear. S. II. §. 125.

3) Annal. de Chim. et de Phys. Ser. III. Bd. 49. 1857. pag. 129.

4) Exper. resear. S. II. §. 148 etc.; vergl. Pogg. Annal. Bd. 25. pag. 142.

sofort den Nachweis, daß der Erdmagnetismus genüge, die Induktion hervorzurufen. Eine Drahtrolle, deren Enden mit einem Galvanometer verbunden waren, wurde mit ihrer Achse parallel der Inklinationsnadel gehalten, dann schnell umgedreht, um einen Winkel von 180°, sodaß das untere Ende nun nach oben stand, sofort zeigte sich ein kräftiger Ausschlag der Galvanometernadel, drehte man beim Zurückschwingen der Nadel die Rolle ebenfalls zurück, so erfolgte ein Strom dem ersten entgegengesetzt und der Ausschlag nach entgegengesetzter Seite wurde verstärkt. Aus diesem Verfahren entwickelte sich das von Weber vielfach angewendete Multiplikationsverfahren, von dem weiter unten die Rede ist. Faraday verstärkte diese Wirkung, wenn er in die Drahtrolle einen Stab weichen Eisens steckte. Es genügte auch schon, wenn er in die ruhig festgehaltene Rolle einen Stab weichen Eisens in der Richtung der Inklinationsnadel schnell hineinstieß, oder schnell herauszog.

Gerade so wie die vertikale und horizontale Komponente des Erdmagnetismus, welche bei diesem Versuch wirksam waren, kann man die Horizontalkomponente allein zur Induktion benutzen. Faraday nahm einen zu einem Rechteck gebogenen Draht, dessen Längsseiten horizontal in der Richtung des Meridians lagen, und brachte in eine Längsseite ein Galvanoskop, lag nun die zweite Längsseite westlich von dem Galvanoskop und wurde das Rechteck schnell über dem Galvanoskop hin so umgedreht, daß die Galvanometerseite fest liegen blieb, die ihr parallele aber jetzt östlich lag, so ging der Strom in dem Galvanometerdraht von Nord nach Süd, wie die Theorie [illegible]ß. Dieselben Induktionserscheinungen nahm Fa[illegible] [illegible]otierenden Scheiben und Kugeln; er ließ [illegible] zur Inklinationsrichtung rotieren [illegible] des Radius hatten denselb[illegible] der Scheibe gewe[illegible] Rotationsachse [illegible] sich Ströme [illegible] dem die Be[illegible] oder ihr[illegible]

E[illegible]gen Far[illegible] und

sofort überall geprüft wurden. Ich habe schon Nobili genannt, welcher teils bestätigend, teils erweiternd die nächsten Jahre sich mit diesen Untersuchungen beschäftigte. Am glücklichsten war zunächst Lenz bei seinen Versuchen.

311. Lenz[1]) wiederholte Faradays Versuche mit den parallel gerichteten Drähten, wo der eine induzierend auf den andern wirkte, aber er ging auch weiter, er ließ die Drähte nicht nur parallel sich gegeneinander bewegen, sondern verschob gekreuzte Drähte nebeneinander oder ließ einen Stromkreis sich innerhalb eines andern drehen. Alle diese Erscheinungen faßt Lenz zusammen in dem die Richtung des induzierten Stromes bestimmenden Gesetz:

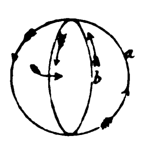
Sind *a* und *b* zwei geschlossene Stromleiter, von denen *a* von einem primären Strom durchflossen wird, und wird ihre relative Lage geändert, so induziert *a* in *b* einen Strom von solcher Richtung, daß die durch die Anziehung oder Abstoßung zwischen dem erregenden und erregten Strom den Leitern erteilte Bewegung entgegengesetzt wäre der Bewegung, welche zur Induktion selbst ausgeführt wurde.

Um die Bedeutung dieses Gesetzes zu verstehen mag es gut sein, dasselbe an einigen Beispielen zu illustrieren. Haben wir den Faradayschen Fall, daß einer Drahtspirale eine zweite parallel gerichtete genähert wird, so ist, wie Faraday fand, der Strom in der induzierten Rolle entgegengesetzt dem induzierenden; nun sagt das Ampèresche Gesetz: Zwei entgegengesetzt gerichtete parallele Ströme stoßen sich ab, also würden die beiden Ströme bedingen, daß die beiden Drahtrollen sich abstießen, also eine der wirklich ausgeführten Bewegung entgegengesetzt gerichtete Bewegung machten. Analog wäre es bei Entfernung der Drahtrollen von einander, da ist die Richtung des induzierten Stromes gleich der des induzierenden; gleichgerichtete Ströme aber ziehen sich an, folglich würde auch hier eine Bewegung resultieren, welche der wirklich ausgeführten entgegengesetzt gerichtet ist. Ein zweites Beispiel sei, daß innerhalb eines vom Strom durchflossenen Kreises ein zweiter

---

1) Pogg. Annal. Bd. 31. 1834. pag. 483.

Drahtkreis bewegt wird, dann entsteht ein Strom, sodaß die Anziehung und Abstoßung der einzelnen Teile der Leiter nach dem Ampèreschen Gesetz eine Rotation in entgegengesetzter Richtung bedingen würde. Die nebenstehende Figur mag Aufschluß darüber geben. Ist *a* der vom Strom in den Pfeilrichtungen durchflossene feste Leiterkreis, *b* der in der Richtung des horizontalen Pfeiles rotierende Drahtkreis, so ist die Richtung des in *b* induzierten Stromes die durch die angelegten Pfeile angedeutete. (Die Andeutung der Rotation bezieht sich auf den vorderen Teil des Kreises *b*.) In gleicher Weise wird, wenn man über einem horizontalen Draht, der durch einen Strom von rechts nach links durchflossen wird, einen vertikalen Draht in derselben Richtung fortbewegt, ein Strom entstehen von oben nach unten in dem bewegten Leiter.



Dasselbe Gesetz hat nach Lenz mutatis mutandis auch seine Gültigkeit bei Magnetoinduktion: Wird ein Magnet in der Nähe eines geschlossenen Leiterkreises bewegt, so induziert er in denselben einen Strom, welcher ihm eine der ausgeführten entgegengesetzte Bewegung erteilen würde.

Erinnert man sich der Ampèreschen Vorstellung von einem Magneten, so ist der letztere Satz selbstverständlich. Man hat in diesen Sätzen aber auch für erzeugten und verschwindenden Magnetismus das Gesetz, wenn man bedenkt, daß erzeugter Nordpol mit genähertem Nordpol identisch wirkt etc. Es ist also in diesem Lenzschen Gesetz die Richtung der Induktionsströme endgültig für alle Fälle bestimmt.

Es handelt sich nun um die Bestimmungen der Stärke der Induktion; auch hier ist Lenz[1]) bahnbrechend gewesen. Er schloß ein Galvanometer durch einen 15 Meter langen Draht und legte diesen in Windungen um den Anker eines Hufeisenmagneten, nun riß er den Anker ab und erhielt einen Induktionsstrom. Zunächst zeigte er, daß es gleichgültig ist für die Stärke des Stromes, wo auf dem Anker sich der Draht befindet, ob in der Mitte oder an den Enden, in beiden Fällen erfolgte

1) Pogg. Annal. Bd. 34. 1835. pag. 385.

der gleiche Ausschlag der Nadel. Jetzt durfte Lenz es wagen, verschiedene Anzahlen von Windungen auf den Anker aufzuwickeln und die erhaltenen Stromstärken zu vergleichen, denn jetzt war die elektromotorische Kraft in jeder einzelnen Windung, ob sie nun nahe am Pol oder in der Mitte sich befand, als gleich groß nachgewiesen. Da der Strom nur von kurzer Dauer ist, wird die Nadel nur momentan abgelenkt um den Winkel α, dann schwingt sie zurück. Die Geschwindigkeit, mit welcher sie die Ruhelage passiert, ist $v = c\sqrt{1 - \cos\alpha}$. Dieser Geschwindigkeit proportional ist die Intensität des Stromes, d. h.

$$i = k \, . \sqrt{1 - \cos\alpha} \, . = k\sqrt{2} \, . \sin\frac{\alpha}{2} = m \, . \sin\frac{\alpha}{2},$$

da der Widerstand in der Leitung stets derselbe war. Lenz beobachtete z. B. für verschiedene Anzahlen (n) von Windungen

$n =$	2	4	8	9	12	16	18
$\sin\frac{\alpha}{2} =$	0,0491	0,1045	0,2156	0,2461	0,3319	0,4470	0,4985

d. h. die Intensität ist proportional der Anzahl der Windungen oder, da $E = J : W$, ist auch die elektromotorische Kraft der Anzahl der Windungen proportional.

Sodann untersuchte Lenz den Einfluß der Weite der Windungen. Bei einem Versuche war die Weite der Windungen zunächst 20 mm, bei einem zweiten hatten die auf einen Holzrahmen aufgewundenen Windungen eine Weite von 177 mm, das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte der engen zur weiten Spirale war 1/1,0838. Als die Weiten dann im Verhältnis 1/38,3 standen, war das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte 1/1,0107, d. h. die elektromotorische Kraft ist unabhängig von der Weite der Windungen.

Läßt man den Widerstand zwischen der Induktionsspirale und dem Galvanometer konstant bleiben, ändert aber den Widerstand der Windungen durch Vermehrung der Windungen, so ist das Verhältnis der Widerstände mit zu beachten. Windet man nun mehrere Reihen übereinander, so wird bei jeder Windung wohl dieselbe elektromotorische Kraft gewonnen, aber für jede weitere Windung ein größerer Widerstand eingeschaltet, es giebt daher nach Lenz ein Maximum der Stromintensität und

dies tritt ein, wenn $n = d\sqrt{\frac{r}{a \pi k}}$ ist, wo n die Anzahl der übereinander liegenden Schichten, d die Dicke des Drahtes, r der äußere Widerstand, a die Länge des umwundenen Teiles des Ankers, k der spezifische Widerstand des Drahtes ist.

In ähnlicher Weise untersucht Lenz die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Dicke des Drahtes und findet dieselbe davon unabhängig. Auch Faradays Bemerkung über die Unabhängigkeit von dem Material der Leitungsdrähte findet Lenz bestätigt, wenn er Kupfer, Messing, Eisen und Platin anwendet und dafür sorgt, daß der Widerstand derselbe bleibt. In einer späteren Arbeit zeigt Lenz[1]) dann in Gemeinschaft mit Jacobi, daß wenn man entstehenden und verschwindenden Magnetismus von verschiedener Stärke in der Spirale Induktionsströme erzeugen läßt, die Stärke des induzierten Stromes proportional ist dem erzeugten oder verschwindenden Magnetismus.

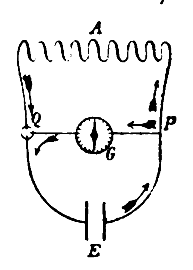
Die ganz analogen Sätze über die Volta-Induktion sind später erst durch direkte Beobachtungen von Felici[2]) und Gaugain[3]) gegeben in den Jahren 1852 bis 1854 und 1859. Es würde wörtliche Wiederholung sein, wollte ich dieselben besonders anführen, außerdem ergeben sie sich direkt aus den Weberschen Versuchen, von denen wir gleich reden werden.

312. Eine ganz eigentümliche Art von Induktionswirkungen entdeckten Jenkins[4]) und Masson[5]) im Jahre 1834, doch erkannten sie dieselbe nicht als Induktionswirkung. Wenn man einen galvanischen Strom an irgend einer Stelle unterbricht, so entsteht ein Öffnungsfunke. Dieser wird stärker bei größerer Länge des Drahtes, obgleich die Intensität des Stromes doch geringer wird, vor allem aber erfährt der Funke, wenn der Schließungsdraht eine längere Spirale bildet, eine Verstärkung. Ebenso erhält man eine starke Erschütterung, wenn man beim

1) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. pag. 225.
2) Annal. de Chim. et de Phys. III. Sér. Bd. 34. pag. 64.
3) Comptes rendus. Bd. 39. pag. 909 u. 1023.
4) Faradays Exper. resear. S. IX. §. 1049.
5) Annal. de Chim. et de Phys. Bd. 66. 1837. pag. 1.

Öffnen zwei an den Enden der Spirale angebrachte Handhaben in den beiden Händen hält. Man kann sogar, wie Masson 1837 zeigte, auf diese Weise sehr schön eine große Reihe von einzelnen Stößen dem Organismus applizieren, indem man den Stromkreis mit Hilfe eines Zahnrades, auf dessen Zähnen das eine Drahtende vom Elemente schleift, während die Fortleitung von der Axe des Zahnrades aus geschieht, häufig unterbricht und wieder schließt, er ist dann jedesmal, wenn der federnde Draht auf einem Zinken aufliegt, geschlossen, während er auf den nächsten springt, geöffnet.

Während Jenkins und Masson dieser Erscheinung ziemlich ratlos gegenüberstanden, bemächtigte sich Faraday[1]) derselben und deckte ihren Zusammenhang mit den Induktionsströmen auf. Die Funken sind nur bei langen Drahtleitungen stark sichtbar, während kurze dicke Drähte beim Öffnen den Funken nur schwach oder gar nicht erzeugen. Man erhöht die Wirkung der Spirale bedeutend, indem man in dieselbe einen weichen Eisenkern schiebt. Will man die Wirkungsweise genauer untersuchen, so giebt Faraday nebenstehendes Schema. Von dem Element oder der Kette E geht der Strom in direktem Schluß durch die Spirale A bis zum Quecksilbernäpfchen Q und von da bis zum Element zurück. Legt man nun zwischen das Quecksilbernäpfchen und den ersten Leitungsdraht eine Zweigleitung QP mit dem Galvanometer G und schließt den Strom, so geht durch QP ein Zweigstrom, welcher die Nadel des Galvanometers nach einer bestimmten Seite ablenken würde. Diese Ablenkung verhindert man durch einen kleinen Stift, an welchen die Nadel sich anlegt. Nimmt man nun den Draht QE aus Q heraus, öffnet also den primären Strom, so zeigt die Nadel in dem Augenblick eine Ablenkung in entgegengesetztem Sinne zu der Ablenkung durch den primären Strom, dessen Richtung durch die Pfeile angedeutet ist, d. h. es fließt ein Strom in der Richtung QP durch den Draht. Die Entstehung dieses Stromes erklärt Faraday sehr einfach.



1) Exper. resear. S. IX. 1835. §. 1079 ff.

Wenn in A der Strom verschwindet, so wird derselbe in allen Windungen schnell geschwächt. Betrachten wir eine einzelne, so wird der verschwindende Strom in dieser in den benachbarten Windungen einen Strom in gleicher Richtung induzieren, das wiederholt sich bei allen Windungen, und die induzierten Ströme summieren sich, sodaß sie in der Spirale in gleicher Richtung fließen wie der primäre Strom, also in QP in entgegengesetzter Richtung wie jener.

Auch wenn man das Galvanometer durch einen dünnen Platindraht ersetzt, kann man sich von der Existenz dieses Induktionsstromes überzeugen, man schließt den primären Strom und legt dann die Brücke PQ ein, der nun durch PQ gehende Zweigstrom wird bei geeigneter Stärke des Elementes und geeigneter Dicke des Drahtes nicht ganz ausreichen, den Platindraht glühend zu machen; öffnet man dann bei Q den primären Strom, so entsteht der induzierte und der Draht erglüht; um dies Resultat zu erhalten, verstärkt Faraday die Induktion durch Einschiebung eines Eisenkerns in die Drahtspirale. Benutzt man diese Vorrichtung, so kann man sich auch der chemischen Wirkung auf Jodkaliumkleister zur Erkennung des Stromes in QP bedienen.

Neben diesem Strome wieß Faraday auch die Existenz eines analogen Stromes beim Schließen des primären nach. Er schloß zunächst den primären Strom bei eingelegter Brücke mit dem Galvanometer, dies erhält dadurch eine konstante Ablenkung. Nun stellt er ein Stiftchen hinter die Nadel, sodaß sie nicht zurück kann bei der nun folgenden Öffnung des Stromes. Wird jetzt der Strom von neuem geschlossen, so zeigt die Nadel einen plötzlichen Ausschlag in demselben Sinne, in welchem sie von dem primären Strom vorher abgelenkt worden war. Der Schließungsstrom ist also in der Brücke ebenfalls von P nach Q gerichtet, wie der primäre Strom. Die Erklärung ergiebt sich ganz analog wie oben. Der in einer Windung der Spirale entstehende Strom wirkt auf die benachbarten Windungen in der Art induzierend, daß darin ein entgegengesetzter Strom entsteht. Dieser durchläuft also die Windungen von links nach rechts, die Brücke daher von P nach Q.

Auch den Schließungsstrom gelang es Faraday mit glühen-

dem Platindraht, welcher nur im ersten Augenblick des Schlusses erglüht, und durch Zersetzung des Jodkaliums nachzuweisen. Faraday nennt diese Art Ströme Extraströme, und hat sich diese Bezeichnung heutzutage allgemein eingebürgert.

Wiederholt und bestätigt wurden diese Versuche Faradays unter nicht sehr erheblichen Abänderungen und ohne bedeutende neue Resultate von Moser[1]) und von Lenz und Jacobi[2]), welch letzterer für dieselben den Namen Neben- oder Gegenstrom vorschlägt. Letztere wiesen besonders den Einfluß eines in die Spirale gesteckten Eisenkernes nach.

313. Eine wesentliche Ergänzung der Faradayschen Versuche brachten die Untersuchungen Marianinis und die gleichzeitigen von P. Rieß 1838, indem sie zeigten, daß auch der Entladungsstrom einer Batterie Induktionswirkungen ausübe. Marianini[3]) magnetisierte durch einen solchen Nebenstrom eine Stahlnadel. Faraday hatte gemeint, eine Induktion durch Reibungselektrizität sei nicht möglich, weil bei einer solchen Entladung Öffnungs- und Schließungsstrom nahezu gleichzeitig auftreten müßten. Rieß[4]) schaltete jedoch in den Schließungsbogen einer Leydener Batterie eine Drahtspirale ein, schob über diese einen Glascylinder und wickelte darauf eine zweite Spirale, welche er entweder durch einen dünnen Platindraht schloß im elektrischen Luftthermometer, welches eine Temperaturerhöhung anzeigte jedesmal, wenn die Batterie entladen wurde, d. h. welches die Existenz eines Nebenstromes anzeigte, oder mit einer zweiten Spirale verband, in welcher eine Stricknadel durch den Strom magnetisiert wurde. Beim weiteren Verfolg der ausgedehnten Versuche mit dem Luftthermometer ergab sich als Hauptresultat für Rieß der Satz, daß die Intensität des Nebenstromes direkt proportional sei der Intensität des Hauptstromes, sowie daß die in der Nebenspirale bewegte Elektrizitätsmenge direkt proportional sei der Windungszahl der induzierenden Spirale, aber unabhängig von der Draht-

1) Doves Repertorium. I. pag. 330.
2) Pogg. Annal. Bd. 45. 1838. pag. 134.
3) Memorie di fisica sperimentale. Modena 1838.
4) Pogg. Annal. Bd. 47. 1839. pag. 65. Rieß, Reibungselektrizität II. pag. 268 ff. 1853.

dicke und der Substanz der Drähte. Über die erhaltene Magnetisierung führen Rieß' Untersuchungen noch nicht zum Abschluß, und auch die neuesten Versuche, die dahin gehören, möchten durchaus nicht ohne Bedenken sein. Jedenfalls ist diese Frage noch nicht endgültig erledigt.

Für diese durch elektrostatische Entladung hervorgerufenen Induktionserscheinungen gelten also nach Rieß dieselben Gesetze, wie für die Induktion durch einen galvanischen Strom.

314. Für den Extrastrom ist dieser Nachweis erst später geliefert von Edlund[1]) 1849. Edlund ließ den Strom in zwei Zweigen so durch zwei nebeneinander gestellte Drahtspulen gehen, daß die Richtung des Stromes in der einen Spule entgegengesetzt war der Richtung in der anderen Spule; waren nun die Widerstände in den beiden Zweigen einander gleich, so konnten diese beiden Spulen auf eine Magnetnadel gar nicht ablenkend wirken. Öffnete man dagegen den primären Strom, so bildeten die beiden Zweige mit den Drahtspulen einen in sich geschlossenen Leiterkreis und die in den beiden Spulen entstehenden Extraströme addierten sich, sie lenken also die Nadel ab. Bezeichnet k die elektromotorische Kraft des Öffnungsstromes, w und w' die respektiven Widerstände in den Stromzweigen und μ die Ablenkung der Nadel, wenn ein Strom von der Intensität 1 durch den einen ν, wenn der Strom 1 durch den zweiten Teil der Drahtspulen geht, dann ist die Ablenkung

$$A = \frac{k}{w + w'} (\mu + \nu);$$

da vorher $w = w'$, also auch $\mu = \nu$ gemacht war, ist $A = \frac{k}{w} . \mu$. Schließt man nach dem Öffnen wieder, so beobachtet man ganz analog den Schließungsstrom und es ergiebt sich das wichtige Resultat: die Intensität des Öffnungs- und Schließungsstromes ist gleich groß; und der zweite Satz: die Intensität der Extraströme ist derjenigen der induzierenden Ströme direkt proportional. Spätere Versuche haben diese Resultate nur bestätigt.

315. Noch eine andere Frage wurde in diesem Zeitabschnitt aufgeworfen, Marianini glaubte nämlich bei seinen

1) Pogg. Annal. Bd. 77. 1849. pag. 161.

Versuchen, wenn er erst den primären Strom schloß und dann die Induktionsspirale mit dem Galvanometer verband, einen Induktionsstrom beobachtet zu haben; mehrere Beobachter glaubten das gleiche, sodaß demnach die Bildung des Induktionsstromes die Zeit der Schließung respektive der Öffnung überdauert hätte. Allein Helmholtz[1]) wieß 1851 nach, daß dies ein Irrtum sei. Während sich sowohl theoretisch wie experimentell für Helmholtz ergiebt, daß die Extraströme beim Schließen wegen ihrer der ursprünglichen Richtung entgegengesetzten Richtung eine Verzögerung im Anwachsen bis zum Maximum der Stromstärke für den Induktionsstrom bedingen, während die Gleichartigkeit der Richtung des Öffnungsextrastromes mit der des Induktionsstromes beim Öffnen eine sehr schnelle Abnahme bedingen. Diese Thatsache ist von großer Wichtigkeit für die Konstruktion von Induktionsmaschinen, deren Geschichte ich nicht hier, sondern in dem letzten Abschnitt behandle.

316. Eine weitere Entdeckung auf dem Gebiete der Induktion verdanken wir Henry[2]), Professor der Physik am Colleg zu New-Jersey. Er wandte zunächst statt der Induktionsrollen Bandspiralen an, welche zu einer flachen Spirale aufgewickelt waren. Durch die erste dieser Bandspiralen schickte er den Strom von 30 Daniellschen Elementen, eine zweite Spirale wurde in geringer Entfernung über der ersten gehalten, und sowohl beim Schließen wie beim Öffnen des primären Stromes die Erzeugung des Stromes in der zweiten Spirale durch Funken, Erschütterung, Ablenkung einer Nadel etc. nachgewiesen. Ließ Henry aber den Strom, welcher in der zweiten Spirale induziert war, statt durch das Galvanoskop durch eine dritte Spirale gehen, und stellte er über dieser wieder eine vierte Spirale mit einem Galvanometer auf, so beobachtete er in dieser einen tertiären Strom, welcher durch den Schließungs- und Öffnungsstrom des zweiten Stromkreises induziert wurde. Auf diese Weise konnte Henry noch Ströme fünfter Ordnung nachweisen, sodaß die Anordnung

---

1) Pogg. Annal. Bd. 83. 1851. pag. 505.

2) Pogg. Annal. Ergänzungsband I. 1840. pag. 282; Bd. 54. pag. 84; Phil. Mag. Ser. III. Bd. 18. pag. 482.

dann folgende war. Durch Spirale 1 ging der primäre Strom des Elementes, dieser induziert in der parallel darüberliegenden Spirale 2 einen Strom, welcher durch die seitlich davon entfernt liegende Spirale 3 geht; diese induziert auf eine über ihr liegende, parallele Spirale 4; deren Strom geht noch durch die Spirale 5 und diese erzeugt wieder in einer darüber liegenden Spirale 6 einen Induktionsstrom etc. Als letzte Spirale wendet Henry nicht eine Bandspirale an, sondern eine flache Induktorrolle mit Drahtwindungen. Er unterscheidet also den primären Strom, welcher durch Spirale 1 geht, den sekundären in Spirale 2 und 3, den tertiären in Spirale 4 und 5 etc. Über die Richtung dieser Ströme giebt Henry folgendes Schema, wenn er die Richtung des primären mit + bezeichnet:

	beim Schließen	beim Öffnen
Primärer Strom . . .	+	+
Sekundärer Strom . . .	−	+
Strom dritter Ordnung	+	−
„ vierter „	−	+
„ fünfter „	+	−

Die Richtung beobachtete Henry durch die Magnetisierung von Stahlnadeln in einer Magnetisierungsspirale oder am Galvanometer, doch zeigte sich am Galvanometer, daß die Ströme dritter und höherer Ordnung fast gar keine Ablenkung ergaben, ein Resultat, welches Henry nicht zu erklären vermochte.[1]) Auch sind seine Beobachtungen über die Wirkung zwischengestellter Platten nicht in allen Teilen bestätigt. Die Verschiedenheit in den Wirkungen dieser Ströme höherer Ordnung bald in Bezug auf Funkengeben, bald in Bezug auf physiologische Wirkungen, welche er ebenfalls beobachtete ohne einen genügenden Grund dafür zu geben, ist begründet in der Abhängigkeit von dem Verhältnis des Widerstandes der Induktionsspirale zu dem äußeren Widerstand, wovon oben (p. 412) die Rede war. Die geringe Ablenkung der Nadel bei den Strömen höherer Ordnung klärt Abria auf.

Poggendorff[2]) hatte 1838 gezeigt, daß wenn man durch

1) Pogg. Annal. Bd. 54. 1841. pag. 84, speziell 89.
2) Pogg. Annal. Bd. 45. 1838. pag. 349.

ein Galvanometer schnellwechselnde Ströme leitet, die ihre Richtung in einer Sekunde etwa 12- bis 14mal ändern, die sogenannte doppelsinnige Ablenkung entsteht. Ist die Nadel auf 0°, also parallel den Drahtringen eingestellt, so zeigt sich dann keine oder nur eine sehr geringe Oszillation um die Nulllage, ist die Nadel aber unter einen kleinen Winkel zu den Drahtwindungen eingestellt, so stellt sich die Nadel im Sinne der ersten Ablenkung nach kurzer Zeit genau unter einen Winkel von 90° zu den Drahtwindungen. Das kommt daher, daß die Nadel dann temporär bis zum Maximum magnetisiert wird. Sei m das magnetische Moment der Nadel, $+i$ oder $-i$ die Stromstärke der aufeinander folgenden Ströme jenachdem sie die Nadel, in dem Sinne der ersten Ablenkung weiter ablenken oder zurücktreiben würden, seien die dadurch in der Nadel bei einer bestimmten Ablenkung derselben erzeugten magnetischen Momente $+m'$ und $-m'$, endlich sei c eine Konstante, so ist das von den Strömen auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment $= c(m+m')i$ oder $= -c(m-m')i$. Die beiden zusammen liefern also ein Drehungsmoment $= 2cm'i$. Die Nadel wird also schließlich senkrecht zu den Windungen stehen müssen.

Nun beobachtete Abria[1]) stets, daß bei den Strömen höherer Ordnung die erste Ablenkung der Nadel, welche also nicht auf 0 einstehen durfte, unter allen Umständen vergrößert wurde, wie auch die Richtung des ersten Stromes sein mochte, das zeigte also, daß die Induktionsströme höherer Ordnung schnell aufeinander folgende Ströme verschiedener Richtung seien. In der That ist die obige Tabelle Henrys denn auch nur gültig in Bezug auf die ersten Ströme in den verschiedenen Spiralen, thatsächlich gestaltet sich dieselbe folgendermaßen:

	beim Schließen	beim Öffnen
Primärer Strom . . .	+	+
Strom zweiter Ordnung	−	+
„ dritter „	+ −	− +
„ vierter „	− + + −	+ − − +
„ fünfter „	+ − − + − + + −	− + + − + − − +

sodaß beim Entstehen jedes einzelnen Stromes in dem Strom-

1) Annal. de Chim. et de Phys. Ser. III. Bd. 7. 1843. pag. 486.

kreis der nächsthöheren Ordnung ein Strom in entgegengesetzter Richtung, beim Verschwinden in gleicher Richtung entsteht.

Die genauere Untersuchung dieser Ströme höherer Ordnung verdanken wir erst der Neuzeit, besonders Buff[1]) untersuchte die Ströme dritter Ordnung und fand die in der Tabelle angegebene Ordnung, es erfordert jedoch die allergrößte Sorgfalt, diese Induktionsströme zu beobachten. Es möchte wohl das Telephon zu diesen Versuchen geeignet sein.

317. Es ist jetzt an der Zeit, daß ich eingehender der Versuche gedenke, welche es mit der Dauer der Induktionsströme zu thun haben. Ob die Induktionsströme Zeit gebrauchen oder nicht, kann man nicht an der Ablenkung der Magnetnadel messen, da die Dauer des Stromes jedenfalls so kurz ist, daß während des Ausschlages der Nadel schon der ganze Strom verlaufen ist, also die gesamte Intensität gleich voll zur Geltung kommt; daß die chemischen Wirkungen ebensowenig geeignet sind, versteht sich von selbst, da hier die momentane Stromstärke überhaupt gar keine Rolle spielt; es bleiben also in erster Linie die physiologischen Wirkungen übrig, die in der That eine solche Schätzung zulassen, da Du Bois-Reymond[2]) gezeigt hat, daß unter sonst gleichen Umständen die Erschütterungen durch die Induktionsströme um so kräftiger werden, je schneller sie verlaufen. Die durch Bewegung von Strömen oder Leitern erzeugten Induktionsströme richten sich in ihrem zeitlichen Verlauf selbstverständlich nach der Zeit der Bewegung, während die Gesamtintensität, wie später gezeigt wird, abhängig von der Länge des Weges ist. Sobald es sich aber um Induktion durch Schließen oder Öffnen eines primären Stromes handelt, sollte man vermuten, daß die Zeitdauer hier für beide dieselbe ist, wie es die Gesamtintensität ist, und doch wirkt der Öffnungsstrom bedeutend stärker physiologisch wie der Schließungsstrom. Der Grund hiervon ist in den Extraströmen zu suchen, der Schließungsstrom ist dem ursprünglichen Strom entgegengesetzt, wird also während seiner Dauer verzögernd auf die Entwickelung des primären

---

1) Pogg. Annal. Bd. 134. 1868.
2) Untersuchungen über tierische Elektrizität I. pag. 258.

Stromes selbst wirken, der Öffnungs-Extrastrom dagegen ist dem primären gleichgerichtet, daher verstärkt er den Verlauf.

Denselben Effekt wie diese Extraströme müssen anwesende Metallmassen oder geschlossene Drahtspulen haben, in welchen die induzierten Ströme beim Schließen dem primären Strom entgegengesetzt gerichtet sind, also auch entgegengesetzt wirken wie der primäre Strom. Dagegen werden die beim Öffnen erzeugten Ströme die Wirkung des primären verstärken, während die Gesamtintensität selbstredend dieselbe bleibt wie beim Schließen. Um dies genauer zu prüfen, konstruierte Dove[1]) seinen Differentialinduktor. Dieser besteht aus zwei gleichgroßen nebeneinander liegenden Holzröhren von $18^1/_2'''$ innerem Durchmesser, auf beide wickelte er genau gleichen Kupferdraht in sich entsprechenden 29 Windungen und schickte durch beide denselben galvanischen Strom. Auf diese umwickelten Holzröhren steckte er zwei sich genau gleiche Induktionsrollen, jede aus 400' langem, $^1/_2'''$ dickem Draht; wurden dieselben nun so verbunden, daß die in ihnen induzierten Ströme beim Schließen oder Öffnen in entgegengesetzter Richtung liefen, so hoben sich die beiden Ströme auf und es war weder galvanometrisch noch physiologisch ein Strom nachzuweisen.

Ebensowenig zeigte sich eine Verschiedenheit in den Induktionsspiralen, als in beide Holzröhren ein weicher Eisenstab gesteckt war von gleicher Länge, gleichem Querschnitt und Gewicht. Als aber Dove in die eine Holzröhre einen massiven Eisenstab, in die andere ein Bündel Eisenstäbchen steckte von solchem magnetischen Moment, daß jede Röhre, einzeln eingeschaltet, die gleiche Stärke des Induktionsstromes lieferte, so war am Galvanometer zwar auch kein dauernder Strom erkennbar, aber physiologisch zeigte sich ein kräftiger Stoß, herrührend von der Rolle mit den Eisenbündeln, und auch die Galvanometernadel zeigte einen kleinen Ruck in demselben Sinne. Es zeigte sich also, daß das massive Eisenstück den Induktionsstrom verzögert hatte, während die Bündel dies nicht oder doch

1) Pogg. Annal. Bd. 49. 1840. pag. 72. Bd. 43. 1838. pag. 518. Bd. 54. 1841. pag. 333.

weniger gethan hatten. Dove änderte diese Versuche noch mannigfaltig ab, doch immer mit demselben Resultat.

Es werden seit der Zeit daher als Eisenkerne in solchen Induktionsapparaten, die für physiologische Zwecke dienen sollen, Eisenbündel und nicht massive Eisenstücke angewandt, z. B. bei dem Du Bois-Reymondschen Schlittenapparat 1848, wo die Induktionsrolle auf der festen primären Rolle, welche die Eisenbündel umschließt, verschiebbar ist, und bei dem großen sogenannten Ruhmkorffschen Induktionsapparat 1851. Über den bei diesen Apparaten auftretenden Wagnerschen Hammer zur Stromunterbrechung teile ich das Nötige bei den elektrischen Maschinen im Kapitel „elektrische Maschinen“ mit. Im übrigen sind diese Apparate nur praktische Anordnungen des Faradayschen Versuches und erfordern deshalb keine nähere Beschreibung.

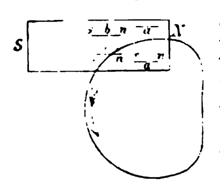
318. Mit gutem Grunde habe ich bisher von einer Induktionserscheinung geschwiegen, welche Faraday[1]) ebenfalls gleich bei seinen ersten Induktionsbeobachtungen fand, die dann aber durch den Mann genauer untersucht und erkannt sind, mit welchem wir uns im nächsten Kapitel fast ausschließlich zu beschäftigen haben, um deswillen stelle ich die unipolare Induktion an das Ende dieses Kapitels. Faraday hatte beobachtet, wie bewegter Magnetismus in einem benachbarten Leiterkreise einen Strom induziert, nach seiner Anschauung über das Wesen des Magnetismus mußte es ihm auch möglich erscheinen, durch Rotation eines Magneten in einem Stromkreis von bestimmter Lage einen Strom zu induzieren, es war da nur nötig, daß nur ein Pol induzierend wirke und die einzelnen Teilchen Magnetismus durch die Ebene des Schließungskreises hindurchgingen, das war aber am einfachsten möglich, wenn die Achse des Magneten selbst ein Teil des Kreises wurde. So zeigte sich denn, wenn Faraday einen Magneten in schnelle Rotation um seine eigene Axe brachte und mit dem einen Ende eines Leitungsdrahtes die Mitte des einen Poles des Magneten berührte, während er mit dem zweiten Drahtende durch eine schleifende Feder die Mitte des rotierenden Magneten berührte, in dem

1) Exper. resear. Ser. II. §. 217.

Leiterkreise ein Strom, dessen Richtung von der Mitte des Magneten durch den Draht zum Pol, oder in dem Magneten selbst vom Pol zur Mitte ging, wenn der rotierende Pol ein Nordpol war.

319. Ausführlicher untersuchte Weber[1]) diese Verhältnisse. Er brachte an dem einen Ende des Magneten ein Zahnrad an, in welches ein Getriebe von Rädern griff, sodaß nicht nur der Magnet in schnelle Rotation versetzt werden konnte, sondern die Zahl der Umdrehungen auch gezählt wurde. Den horizontal liegenden cylindrischen Magneten versah er in der Mitte mit einem Radkranze, welcher in eine Quecksilberrinne tauchte, während die zu konischen Spitzen verlängerten Enden der Achse des Magneten in kupferne Gehäuse ragten, welche kleine Höhlungen mit Quecksilber enthielten. In eine dieser und in die Quecksilberrinne legte er die Enden des Leitungsdrahtes und beobachtete so die induzierten Ströme.

Zunächst haben wir uns zu fragen, wie denkt sich Weber diesen Vorgang. Geht durch einen Leiterkreis ein Teilchen Nordmagnetismus, so induziert es einen Strom, ein gleiches Teilchen Südmagnetismus induziert aber einen entgegengesetzten, folglich werden Magnete, die im ganzen in einer zur Ebene des Stromkreises parallelen Lage ihrer Achse durch die vom Strom umschlossene Ebene hindurchgehen, keine Induktionswirkung zeigen. Fassen wir einen Magnetstab als Summe paralleler magnetischer Moleküle auf, so wird das eben Gesagte auch für die einzelnen Moleküle gelten; folglich alle die Moleküle, welche wie *a* in dem nebenstehenden Schema durch den Stromkreis gehen, werden unwirksam sein, und nur die, welche so vom Strom geschnitten werden wie *b* und *c*, daß der Nordpol von oben durch die Ebene des Leiterkreises geht und dann auf der Außenseite der Leitung wieder aufsteigt, der Südpol dagegen fortdauernd außerhalb des Leiterkreises bleibt, werden eine Induktionswirkung hervorzubringen imstande sein.



1) Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins 1839. pag. 63.

Aus dieser Grundidee ergeben sich sofort folgende Sätze, die Weber experimentell bestätigt:

1) Die Induktion auf allen Wegen von einem berührten Punkte der Mantel-Oberfläche zu dem berührten Ende der Drehungsachse ist gleich, wenn der Magnetismus gleichmäßig verteilt ist.

2) Wenn der galvanische Strom gleichzeitig auf mehreren Wegen von der Oberfläche des Cylinders zur Achse geht, auf denen allen die Induktion gleich ist, so ist die Induktion eben so stark, als wenn er bloß auf einem Wege hindurchgeht. Daraus folgt sofort, daß die Induktion unabhängig ist von der Zahl der Punkte, welche an der Oberfläche berührt werden.

3) Die Induktion ist unabhängig von der Länge des Cylinders, wenn dessen Moleküle alle gleich stark magnetisch sind.

4) Die Induktion ist unter sonst gleichen Umständen dem Querschnitt des Cylinders proportional.

Sehr beachtenswert ist, daß Weber sich in dieser Arbeit darüber ausspricht, daß die Ampèresche Hypothese über die Konstitution des Magneten aus Molekularströmen mit diesen Erscheinungen im Zwiespalt zu stehen scheinen. Das ist wohl die Veranlassung gewesen, daß Weber bald nachher sich der Untersuchung des Ampèreschen Gesetzes zuwandte, was ihn dann zu seinem Gesetze führte. Es sei noch gestattet, den Schluß dieser Arbeit zu erwähnen. Weber sagt: „Es ist bekannt, daß fast allen magnetoelektrischen Versuchen elektromagnetische Gegenversuche entsprechen. Man kann hiernach vermuten, daß es auch für unsern Versuch, der zuerst von Faraday gemacht ist, einen solchen Gegenversuch geben werde. Dies ist wirklich der Fall. Es braucht sogar dieser Gegenversuch gar nicht erst gemacht zu werden, er besteht offenbar darin, daß man, statt den magnetischen Cylinder zu drehen und dadurch in der Leitungskette einen galvanischen Strom zu induzieren, einen galvanischen Strom in entgegengesetzter Richtung durch die Kette leitet, wo dann der Magnet sich von selbst in derselben Richtung zu drehen beginnt, in welcher er vorher gedreht wurde.“ Von diesem Versuche bin ich bei der Darstellung der Induktionsentdeckung durch Faraday ausgegangen,

es scheint mir in der That der wirklich von Faraday ausgeführte Gedankengang zu sein.

Dreizehntes Kapitel.

Das Webersche Gesetz.

320. Das Webersche Gesetz hat eine längere Vorgeschichte; wir können außer den Untersuchungen über die unipolare Induktion noch andere frühere Untersuchungen Webers als vorbereitende Arbeiten ansehen und wollen außer den bereits besprochenen die noch übrigen in historischer Reihenfolge durchgehen.

Wilhelm Weber[1]) war der zweite Sohn des 1754 geborenen und 1833 gestorbenen Professors der Theologie an den Universitäten zu Wittenberg und nach deren Auflösung zu Halle, Mich. Weber. Geboren wurde W. Weber am 24. Oktober 1804 zu Wittenberg. In Halle besuchte W. Weber das Pädagogium des Franckeschen Waisenhauses und bezog dann die Universität, sich von Anfang an Experimentaluntersuchungen zuwendend. Schon 1825 erschien sein erstes in Gemeinschaft mit seinem Bruder Ernst Heinrich verfaßtes Werk, die Wellenlehre auf Experimente gegründet, noch heute das ausführlichste und beste Werk auf diesem Gebiete. 1826 promovierte W. Weber und habilitierte sich im folgenden Jahre als Privatdocent in Halle. Schon 1828 wurde er zum außerordentlichen Professor ernannt und trat in fruchtbringende Verbindung mit A. v. Humboldt. Durch diesen wurde die erste Bekanntschaft mit Gauß vermittelt und dieser erkannte in Weber den gleichbegabten Mitarbeiter. So wurde Weber 1831 als Professor nach Göttingen berufen, wo die Beziehungen zwischen Weber und Gauß bald so innige wurden, daß Weber sich veranlaßt sah, 1837, als die berühmten Göttinger Sieben wegen ihrer Weigerung, die Aufhebung der Verfassung anzuerkennen, ihres Amtes entsetzt wurden, als Privatmann in Göttingen zu bleiben und den Untersuchungen des magnetischen Vereins seine ganze Thätig-

1) Vergleiche Prinzipien einer elektrodynamischen Theorie der Materie von Fr. Zöllner. 1876. pag. XCV.

keit zu widmen und des Verkehrs mit Gauß zu genießen, der sich gezwungen glaubte, sich den Sieben nicht anzuschließen, da er dem Welfischen Herscherhause viel verdankte. Von 1843 bis 1849 war Weber als Professor in Leipzig thätig und veröffentlichte hier seine wichtigste grundlegende Arbeit über sein Gesetz bei Begründung der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. 1849 setzte Gauß die Rückberufung Webers durch und von dem Jahre an blieb Weber der Göttinger Universität treu, deren Zierde er noch heute ist, wenn er, der Unverheiratete, gleich oft in Leipzig weilte, besonders in den letzten Lebensjahren seines älteren Bruders, des berühmten Physiologen der Leipziger Universität, Ernst Heinrich Weber. 1855 hatte W. Weber den Schmerz, seinen treuen Freund Gauß mit zur Ruhe zu geleiten und 1871 verlor er seinen jüngeren Bruder, den Anatomen Eduard Friedrich Weber, sowie 1878 den älteren Physiologen. Er ist der letzte der berühmten drei Brüder Weber und auch der letzte der Göttinger Sieben, der Heros und Nestor der Physiker.

321. Durch Gauß erhielt Weber den ersten Anstoß, sein bisheriges Spezialgebiet, Wellenlehre und Akustik, mit dem Gebiete der Elektrizität und des Magnetismus zu vertauschen. Von der ersten Leistung Webers auf diesem Gebiete haben wir nur eine sehr spärliche Nachricht. Es ist die berühmte erste Telegraphenleitung, die die Welt gesehen. Ob Gauß oder Weber die erste Idee zu diesem elektrischen Telegraphen gehabt, läßt sich aus den vorhandenen Quellen nicht nachweisen. Die erste Notiz [1]), welche wir über dieses Ereignis haben, lautet ziemlich ausführlich und wörtlich reproduziert: „Wir können hierbei eine mit den beschriebenen Einrichtungen (Magnetisches Observatorium) in genauer Verbindung stehende großartige und bisher in ihrer Art einzige Anlage nicht unerwähnt lassen, die wir unserem Professor Weber verdanken. Dieser hatte bereits im vorigen Jahre von dem physikalischen Kabinet aus über die Häuser der Stadt hin bis zur Sternwarte eine doppelte Drahtverbindung geführt, welche gegenwärtig von der Sternwarte bis zum magnetischen Observatorium fortgesetzt ist;

---

1) Göttingische gelehrte Anzeigen. 1834. II. pag. 1272. Stück 128.

dadurch bildet sich eine große galvanische Kette, worin der galvanische Strom, die an beiden Endpunkten befindlichen Multiplikatoren mitgerechnet, eine Drahtlänge von fast 9000′ zu durchlaufen hat. Der Draht der Kette ist größtenteils Kupferdraht von der im Handel mit 3 bezeichneten Nummer, wovon eine Länge von 1 Meter 8 gr wiegt. — — Diese Anlage ist ganz dazu geeignet, zu einer Menge der interessantesten Versuche Gelegenheit zu geben. Man bemerkt nicht ohne Bewunderung, wie ein einziges Plattenpaar, am andern Ende der Kette hineingebracht, augenblicklich dem Magnetstab eine Bewegung erteilt, die zu einem Ausschlage von weit über tausend Skalenteilen ansteigt, noch auffallender aber findet man, anfangs wenigstens, daß ein Plattenpaar von sehr geringer Größe, z. B. einen Zoll im Durchmesser, und unter Anwendung von bloßem Brunnenwasser (destilliertem Wasser) eine nicht viel kleinere Wirkung hervorbringt, als ein sehr großes Plattenpaar mit starker Säure. Und doch ist dieser Umstand ganz in der Ordnung und dient nur zur Bestätigung der Ohmschen Theorie. — — Die Leichtigkeit und Sicherheit, womit man durch den Kommutator die Richtung des Stromes und die davon abhängige Bewegung der Nadel beherrscht, hatte schon im vorigen Jahre Versuche einer Anwendung zu telegraphischen Signalisierungen veranlaßt, die auch mit ganzen Worten und kleinen Phrasen auf das vollkommenste gelangen. Es leidet keinen Zweifel, daß es möglich sein würde, auf ähnliche Weise eine unmittelbare telegraphische Verbindung zwischen zwei eine beträchtliche Anzahl von Meilen voneinander entfernten Orten einzurichten; allein es kann natürlich hier nicht der Ort sein, Ideen über diesen Gegenstand weiter zu entwickeln.“

Ich habe diesen Auszug hier so vollständig hergesetzt, weil die Göttinger gelehrten Anzeigen sehr selten sind und man an dem verborgenen Winkel schwerlich eine Mitteilung von solcher Tragweite vermutet. Auch ersieht man daraus, daß entgegen der gewöhnlichen Ansicht zu diesen ersten Versuchen keine Induktionsströme benutzt sind, sondern galvanische Elemente. Wollte man aus dieser Notiz schließen, daß Weber diese Telegraphie allein erfunden hätte, so würde man wohl zu weit gehen, es scheint mir vielmehr nur die Art der Ausführung

sein alleiniges Verdienst, während die Ideen dazu ein gemeinsames Eigentum von Gauß und Weber sind, was bei dem häufigen mündlichen Verkehr zwischen beiden sehr wohl möglich ist anzunehmen.

Das scheint mir aus einer Bemerkung Gauß' in der nächsten diesen Gegenstand berührenden Publikation aus dem Jahre 1837 hervorzugehen. Gauß sagt da[1]): „— — von welcher großartigen Anlage (jener Drahtverbindung) das Verdienst der sehr schwierigen Ausführung allein dem Herrn Professor Weber gehört.“ Ausdrücklich hebt Gauß weiter hervor, daß die Signalisierung von Buchstaben, Wörtern und ganzen Phrasen damals (1833) nur Nebensache gewesen sei, daß aber die angewandten Apparate und die Verwendung eines galvanischen Elementes es nur zugelassen habe, in einer Minute nicht mehr als zwei Buchstaben zu signalisieren, was auch keiner sehr erheblichen Beschleunigung fähig gewesen sei, wenn man nicht mehrere Stromkreise habe anwenden wollen. Dagegen habe ihm (Gauß) die Theorie der Induktionsströme ein anderes Verfahren gelehrt, welches zu telegraphischen Zwecken brauchbarer sei und sei dasselbe seit 2 Jahren angewendet.

Die Gaußschen Abänderungen[2]), wodurch in einer Minute sieben Buchstaben telegraphiert wurden, sind folgende. An die Stelle des Elementes tritt eine Induktionsrolle von 7000 Windungen, in welche ein doppelter, sogenannter astatischer (aus zwei einzelnen entgegengesetzt gerichteten Magneten bestehender) Magnetstab ragte. Wird die Induktionsrolle schnell abgezogen und sofort wieder aufgesetzt, so durchlaufen hintereinander zwei gleich starke, entgegengesetzt gerichtete Ströme die über 13000′ lange Leitung, die vom Multiplikator umgebene Magnetnadel macht also vermöge des ersten Stromes eine kräftige Bewegung aus der Ruhelage, diese kann aber nur kurz sein, da der folgende Strom sie sofort in die Ruhelage zurückzuführen bestrebt ist. Da die Ströme gleich stark sind, würde

1) Resultate des magnet. Vereins. 1837. pag. 15.

2) Die Beschreibung des zuerst angewandten kleineren Induktors findet sich in: Göttinger gelehrte Anzeigen 1835. I. pag. 351 und Schumachers Jahrbuch für 1836. pag. 41. Die obige Beschreibung ist nach den Result. d. magn. Vereins. 1837. pag. 1.

die Ruhelage sofort wieder hergestellt werden durch den zweiten Strom, allein bei einem Magnetometer mit langer Schwingungsdauer werden Schwingungen eintreten. Dies zu vermeiden, ersetzt Gauß die unifilar aufgehängte Magnetnadel durch eine bifilar aufgehängte Nadel, welche eine ganz kurze Schwingungsdauer hat, und macht die Nadel selbst nahezu astatisch, sodaß die Direktionskraft des Erdmagnetismus nur sehr gering ist. Die Bifilarsuspension, welche Gauß in diesem Aufsatz zuerst beschreibt, ist später auch für Weber von der größten Wichtigkeit, wie bereits pag. 377 erwähnt, gewesen.

Noch aus einem andern Grunde ist dieser Aufsatz von großer Wichtigkeit. Gauß benutzt darin zum erstenmale einen Dämpfer, d. h. einen um die Nadel geschlossenen Kupferbügel, in welchem der schwingende Magnet Induktionsströme induziert, die nach dem Lenzschen Gesetze nun auf ihn eine Kraft ausüben, daß seine Bewegung dadurch verzögert wird. Auch dieser Dämpfer ist von Weber und besonders von Wiedemann in den von ihnen konstruierten Galvanometern ausgiebig benutzt worden.

322. Webers Bemühungen waren naturgemäß zunächst auch auf die Erforschung des Erdmagnetismus gerichtet, und die Methode mit Hilfe einer kleinen Bussole und eines kleinen Magnetstabes die Horizontalintensität zu messen, sowie besonders die Erfindung des transportabeln Magnetometers nebst vielen anderen Arbeiten in den „Resultaten" sichern Weber auch auf diesem rein magnetischen Gebiete dauernd eine hervorragende Rolle. Allein die Beziehungen zwischen Elektrizität und Magnetismus waren doch so groß, daß es in der That eine notwendige Aufgabe war, auch auf diese Weise der Erforschung des Erdmagnetismus beizukommen. Diese Aufgabe löste Weber durch sein Induktions-Inklinatorium.

Schon Faraday[1]) war es nach vielen vergeblichen Versuchen gelungen die Induktion durch den Erdmagnetismus nachzuweisen, doch waren seine beobachteten Wirkungen so schwach, daß von einer Messung nicht die Rede sein konnte; um stärkere Wirkungen zu erhalten, wandte Weber folgenden

1) Phil. Transact. 1832. pag. 165.

Apparat an.[1]) Einen aus 16 Windungen bestehenden Kupferring machte er um eine horizontale Achse mittels geeignet angebrachter Zahnräder durch eine Kurbel schnell drehbar. Im Centrum dieses Ringes stellte er eine einfache Bussole auf, welche einen kupfernen Bügel hatte, der als Dämpfer wirkte. Der Apparat wurde so aufgestellt, daß die Drehungsachse des Ringes mit dem magnetischen Meridiane zusammenfällt, also auch mit der Richtung der Nadel in der Bussole. Wird jetzt der Kupferring in Rotation versetzt, so kann die Nadel keine Induktionswirkung ausüben, aber der Erdmagnetismus wird durch seine vertikale Komponente induzieren, während die horizontale ebenfalls unwirksam ist. Diese Induktion wird nun, während der Ring eine halbe Umdrehung macht einen Strom in bestimmter Richtung nach dem Lenzschen Gesetze induzieren, während der nächsten halben Umdrehung aber in entgegengesetztem Sinne, sodaß der Kupferring während einer Rotation nach einander von zwei gleichen entgegengesetzten Strömen durchlaufen ist. Wollte man diese Ströme also zu einem zweiten Multiplikator führen, so würde hier eine Ablenkung der Nadel nicht eintreten.

Auf die Nadel in der Mitte dieses rotierenden Ringes wirken die entgegengesetzten Ströme aber, eben wegen dieser veränderten Lage in gleichem Sinne, es entsteht daher eine konstante Ablenkung der Nadel nach der einen oder der anderen Seite je nach dem Sinne der Rotation. Bezeichnet nun T' die Vertikalkomponente des Erdmagnetismus, $r^2\pi$ die Fläche des Kupferringes, φ den Winkel derselben mit der Vertikalebene, $d\varphi$ den Drehungswinkel, ω den Widerstand des Ringes, so ist die Intensität des induzierten Stromes proportional $\frac{T'}{\omega}\cdot\pi r^2\cos\varphi\, d\varphi$. Die auf die Nadel, deren Magnetismus mit M bezeichnet werde, ausgeübte ablenkende Kraft ist proportinal $2\pi^2 r\,.\,MT'.\cos^2\varphi\,.\,d\varphi/\omega$ und bei geeigneter Wahl des Widerstandsmaßes diesem Quotienten gleich. Durch Integration von $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ bis $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ erhält man die ablenkende Kraft einer halben Umdrehung $= \frac{\pi^3 r}{\omega}\,.\,M\,.\,T'$, durch n Umdrehungen also die Kraft

1) Resultate etc. 1837. pag. 81.

$$= \frac{2 n \pi^3 r}{\omega} . M . T'.$$

Dem entgegen wirkt die Direktionskraft der horizontalen Componente ($= T$); diese ist gleich $M . T.$, also die Tangente der Ablenkung (v) ist ausgedrückt durch

$$\operatorname{tang} v = \frac{2 n \pi^3 r}{\omega} \cdot \frac{M T'}{M T}$$

da $T' / T = \operatorname{tang} i$, wenn i die Inklination bedeutet, ist, so ergiebt sich:

$$\operatorname{tang} v = \frac{2 n \pi^3 r}{\omega} \operatorname{tang} i = a . \operatorname{tang} i;$$

hat man also einmal a bestimmt, so ist tang i gegeben für jeden beliebigen Punkt der Beobachtung aus tang v allein.

Es dient ein solches Instrument also zur bequemen Vergleichung der Inklination. Will man den Apparat zur absoluten Bestimmung der Inklination benutzen, so muß man eine Vergleichung von T' und T ausführen, also noch die horizontale Komponente induzierend wirken lassen. Auch dies ist an den Apparat vorgesehen, man kann die Drehungsachse auch vertikal stellen, dann muß man aber durch eine zweite Beobachtung mit einer zweiten Bussolennadel von anderem magnetischen Moment, aber möglichst gleicher Gestalt den induzierenden Einfluß der Nadeln eliminieren, doch rät Weber von diesem Gebrauch des Induktions-Inklinatoriums ab. Es ist aber gewissermaßen der Vorläufer des 1852 von ihm konstruierten Erdinduktors, wovon später die Rede sein wird.

323. Diese Versuche mit dem Induktions-Inklinatorium führten Weber nun im folgenden Jahre zur Konstruktion seiner Rotationsinduktoren.[1]) Schon seit 1832 waren Induktionsströme durch Rotation von Magneten in den die ruhenden Pole eines aus weichem Eisen gebildeten Hufeisens umgebenden Drahtrollen erzeugt. (Siehe das Kapitel „elektrische Maschinen“.) Weber führt nun einen kugelförmigen Induktor ein, der zwischen zwei Magnetpolen rotieren soll; und berechnet die wirksamste Anordnung für solche Maschinen. Bei diesen Versuchen ergab sich noch die wichtige Thatsache[2]), daß die in gleichen Zeiten

1) Resultate etc. 1838. pag. 102.

2) Resultate etc. 1838. pag. 118.

in der zwischen zwei Magnetpolen rotierenden um einen weichen Eisenkern gewickelten, kugelförmigen Drahtspule induzierten Stromintensitäten nicht direkt proportinal sind der Drehungsgeschwindigkeit, wie man vermuten mußte und das kommt hauptsächlich von der Zeit, welche erforderlich ist, um in dem Eisenkern die verschiedene Polarität zu erzeugen. Bei späteren Versuchen mit einer Stöhrerschen Maschine, ergab sich ein analoges Resultat[1]), sodaß man das Maximum der Wirkung bei einer ganz bestimmten Rotationsgeschwindigkeit erhält, welche sich aus einer Formel $i = \frac{an}{1 + bn + cn^2}$, wo i die Intensität, n die Zahl der Wechsel (d. h. die doppelte Anzahl der Rotationen), a, b und c Konstante sind, berechnen läßt.

324. Die drei wichtigen nun folgenden Arbeiten über unipolare Induktion, die Messung der Stromstärke durch eine Tangentenbussole und das elektrochemische Äquivalent des Wassers habe ich bereits erwähnt, die noch übrigen in den Resultaten enthaltenen Arbeiten Webers sind magnetischen Inhalts, sie interessieren uns hier daher weniger, nur insofern sind sie auch hier zu beachten, als sich Weber dadurch immer mehr die Frage nach der Vorstellbarkeit eines Magneten als Summe der Molekularströme, d. h. nach der Richtigkeit der Ampèreschen Theorie aufdrängte. Diese Frage fällt zusammen mit der zunächst zu beantwortenden nach der Gültigkeit des Ampèreschen elektrodynamischen Grundgesetzes, und so wendet sich denn Weber zunächst dieser zu.[2])

325. Die Ampèreschen Versuche können, so schön sie sind, nicht überzeugend beweisen, da in ihnen oft eine Beobachtung, welche die Wirkung 0 zeigte, als Beweis für die Nichtexistenz der Wirkung angesehen wird, und andererseits von einer Messung der Kräfte gar nicht die Rede ist. Aber nur messende Versuche können beweisen. Weber begnügt sich nicht mit der

1) Pogg. Annalen. Bd. 61. 1844. pag. 431.

2) Abhandlungen bei Begründung der königlich sächsischen Gesellschaft d. Wissensch. 1846. pag. 211. Die ersten Beobachtungen mit einem Vorläufer des Dynamometers sind 1834 gemacht, das erste Dynamometer ist im Sommer 1837 konstruiert, und das vollständige, womit die weiteren Beobachtungen angestellt sind, im Jahre 1841.

Wiederholung der Ampèreschen Beobachtungen, sondern erfindet zur genauen Prüfung sein „Dynamometer“, dessen Vorläufer ich seiner Zeit (s. 377) erwähnt habe.

Die Einrichtung dieses Apparates ist im Wesentlichen folgende: In einem kreisrunden Multiplikatorringe, schwingt statt eines Magneten eine an einem Rahmen befestigte Drahtrolle, welche, um ein festes Drehungsmoment zu erhalten, „bifilar“ aufgehängt ist, und zwar dienen die Aufhängungsdrähte, welche feine Metalldrähte sind, gleichzeitig als Zuleiter. Diese beiden Drähte, welche den Rahmen mit der beweglichen Rolle innerhalb der festen tragen, endigen am oberen Teile in je einer Öse, und diese sind durch einen Seidenfaden, der über ein Elfenbeinrädchen geht, miteinander verbunden; dadurch wird bewirkt, daß die Last des Rahmens mit der Rolle sich auf beide Drähte gleichmäßig verteilt. Die Zuleitung des Stromes in die Aufhängungsdrähte geschieht dann durch Metallräder, welche am oberen Teil derselben schleifen und mit den Polenden des Elementes verbunden sind, freilich nur das eine direkt, während das zweite mit einem Drahtende der festen Rolle, des „Multiplikator“, verbunden ist. Das zweite Ende dieser festen Rolle führt dann zu dem zweiten Pol des Elementes, oder der Kette.

Die bewegliche Rolle, welche kurz die Bifilarrolle genannt wird und einen Beobachtungsspiegel trägt, wird zunächst so gestellt, daß die Ebene ihrer Drahtwindungen senkrecht steht auf der Windungsfläche des Multiplikators. Der hindurchgeleitete Strom, der entweder zuerst durch die Multiplikatorrolle, dann durch die Bifilarrolle geht, oder umgekehrt, sucht nun unter allen Umständen die Bifilarrolle so zu stellen, daß die Stromteile der letzteren parallel und gleichgerichtet denen im Multiplikator werden. Man wird deshalb, je nach der Verbindung, Ablenkung nach rechts oder links aus der oben charakterisierten Ruhelage bei Stromschluß bekommen. Diesem so ausgeübten elektrodynamischen Drehungsmomente steht das durch die Bifilarsuspension ausgeübte entgegen, und da letzteres für beobachtete Ablenkungswinkel bekannt ist, kann ersteres berechnet werden.

Bei einem Strome von drei kleinen Groveschen Elemen-

ten war die Ablenkung der Bifilarrolle so groß, daß sie mit Spiegel und Skala nicht wohl gemessen werden konnte, daher wandte Weber Stromteilung an, indem er die beiden Zuleitungsdrähte der Suspension unter sich direkt verband, durch einen starken Kupferdraht, dessen Widerstand sich zu dem der Bifilarrolle und der Suspension verhielt wie 1:245,26; daher verhielt sich die Stromintensität in der Bifilarrolle zu der in der Multiplikatorrolle wie 1:246,26.

Um nun die Intensität des ungeteilten Stromes bequemer messen zu können, stellte Weber das Dynamometer so auf, daß die Ebene der Multiplikatorwindungen im magnetischen Meridian lag, und in denselben Meridian stellte er ein eigens hierzu konstruiertes „Magnetometer", aus einem in der Vertikalebene hängenden, magnetisierten Stahlscheibchen, dessen magnetische Achse horizontal war. An einer Seitenfläche war dasselbe poliert, sodaß es direkt als Spiegel diente. Diese Scheibe befand sich in einem dicken, eng umschließenden, festen Kupfergehäuse, wodurch eine kräftige Dämpfung ausgeübt, und die sonst lange schwingende Scheibe bald zur Ruhe gebracht wurde. Dies Magnetometer wurde in einer passenden Entfernung von dem Dynamometer aufgestellt und die Ablenkung der Magnetscheibe, welche von dem Strom, welcher durch ein auf die Kupferhülse aufschiebbares Multiplikatorgewinde ging, hervorgerufen wurde, gab ein Maß der Intensität des Stromes. Es ist dies das erste Spiegelgalvanometer, welches das Vorbild vieler späteren geworden ist.

Durch gleichzeitige Beobachtung der Ablenkung der Magnetscheibe und der Bifilarrolle konstatierte Weber zunächst den Satz: „Die elektrodynamische Kraft zweier Teile einer Kette ist dem Quadrate der Stromintensität proportional."

326. Um nun die Abhängigkeit der elektrodynamischen Wirkung von der Entfernung der beiden Ströme abzuleiten, war es nötig, den Apparat so zu verändern, daß nicht die Bifillarrolle die kleinere war und innerhalb der größeren, festen Multiplikatorrolle so hing, daß die Mittelpunkte beider zusammenfielen, sondern daß die bewegliche Bifilarrolle die größere war und die kleinere Multiplikatorrolle auf einem Gestelle in die

erstere hineingeschoben oder irgendwo seitlich aufgestellt werden konnte. Auf diese Weise beobachtete Weber unter gleichzeitiger Messung der Stromintensität die Ablenkung der Bifilarrolle, wenn die Multiplikatorrolle 1) innerhalb der beweglichen, 2) in drei verschiedenen Abständen östlich oder westlich und 3) in zwei verschiedenen Entfernungen südlich oder nördlich von der Bifilarrolle aufgestellt war. Diese Lagen nördlich und südlich einerseits, östlich und westlich andererseits, entsprechen den von Gauß bei den magnetischen Ablenkungen eingeführten „beiden Hauptlagen", es lassen sich auch hier dementsprechend die Tangenten der beobachteten Winkel entwickeln nach fallenden ungeraden Potenzen der Entfernungen, und durch die Übereinstimmung der Rechnung mit der Beobachtung ergiebt sich das wichtige Resultat: „Für die elektrodynamischen Fernewirkungen gelten dieselben Gesetze, wie für die magnetischen."

Weber bestätigt nun das Ampèresche Fundamentalgesetz, daß die Wirkung zweier Stromelemente ds und ds', welche von Strömen mit den Intensitäten i und i' durchflossen werden, und unter sich den Winkel ε bilden in der Entfernung r, welche mit ds den Winkel ϑ, mit ds' den Winkel ϑ' bildet, ausgedrückt ist durch $-\frac{i i'}{r^2} (\cos \varepsilon - \frac{3}{2} \cos \vartheta . \cos \vartheta') ds . ds'$, indem er die Integration für die Rollen ausführt und die nun berechneten Werte mit den beobachteten vergleicht. Daraus ergiebt sich die absolute Richtigkeit des Ampèreschen Grundgesetzes.

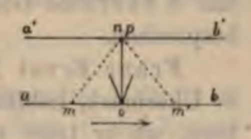
327. Hierauf wendet sich Weber der Voltainduktion zu. Ehe ich jedoch diesen Abschnitt seiner Abhandlung besprechen kann, ist es notwendig auf zwei Arbeiten anderer Gelehrten hinzuweisen, welche hier vorgearbeitet haben, und deren Publikationen Weber teilweise kannte. Die eine Arbeit ist die von Fechner[1]), welche er nach seiner langen Augenkrankheit als die erste wieder publizierte. Fechner stellt sich die Aufgabe, die Induktionserscheinungen mit dem Ampèreschen Gesetz in Einklang zu bringen, indem er von folgenden zwei Sätzen ausgeht:

1) Pogg. Annal. Bd. 64. 1845. pag. 337.

1) Jede Wirkung eines Stromelementes läßt sich ansehen als zusammengesetzt aus der Wirkung eines positiven und eines gleich starken negativen Elektrizitätsteilchens, die gleichzeitig dasselbe Raumelement im entgegengesetzten Sinne durchlaufen.

2) Die Wirkung zweier Stromelemente aufeinander läßt sich mit Rücksicht auf diese Zusammensetzung durch die Voraussetzung repräsentieren, daß gleichartige Elektrizitäten anziehend aufeinander wirken, wenn sie in gleichem Sinne oder nach einer gemeinschaftlichen Winkelspitze hingehen; entgegengesetzte Elektrizitäten aber dann, wenn sie in entgegengesetztem Sinne gehen, oder so, daß die eine sich der gemeinschaftlichen Winkelspitze nähert, während sich die andere davon entfernt.

Unter Zugrundelegung dieser Sätze betrachtet Fechner den Fall, ein von einem Strom durchflossener Leiter ab wirke auf einen parallelen Leitungsdraht $a'b'$. In $a'b'$ haben wir neutrale Elektrizität, d. h. in jedem Punkte ist ein gleich großes Quantum + und − Elektrizität. Betrachten wir die Wirkung, die ein solches Doppelteilchen np erfährt von zwei Stromelementen m und m', welche in Bezug auf die Senkrechte npo symmetrisch liegen. Nach Satz 2 braucht man nur die Wirkung von einer Elektrizitätsart in m und m' auf n und p zu betrachten, da die entgegengesetzt strömenden anderen Elektrizitätsarten in gleichem Sinne wirken. Man hat also die Wirkung der im Sinne des Pfeiles strömenden + Elektrizität von m auf p und n zu untersuchen, das + Teilchen m nähert sich dem Lote po, wird also p in der Richtung pm anziehen, diese Anziehung in Komponenten nach den Richtungen $a'b'$ und po zerlegt, giebt je eine Komponente in der Richtung pa' und po, ebenso die Wirkung des + Teilchens in m' giebt für p eine Komponente in der Richtung pa', dagegen die Wirkung der + m und m' auf n, geben für n zwei Komponenten in der Richtung nb'.



Die Komponenten in der Richtung des Lotes npo heben sich auf und es entsteht demnach in der That ein Strom in dem durch die Erfahrung angegebenen Sinne.

Für den Fall der senkrechten Stromesrichtung führt Fechner die Betrachtung nicht durch, deutet sie nur an; man kommt da zu denselben Resultaten, wie sie das Experiment fordert. Dann giebt Fechner noch einige Vermutungen, die sich aus seiner Anschauung ergeben, bezüglich der Wirkung zwischen Magnetismus und freier Elektrizität, die bisher noch nicht haben experimentell nachgewiesen werden können. Vor allem ist es aber interessant, daß Fechner meint, diese Betrachtungen würden es möglich machen, die Geschwindigkeit der Elektrizität, d. h. die wirkliche Geschwindigkeit ihrer den Strom bildenden Teilchen zu messen. Eine Forderung, welche Weber erfüllte.

328. Von der am 27. Oktober 1845 in der Berliner Akademie gelesenen Abhandlung Neumanns war beim Erscheinen der Weberschen Arbeit nur ein Auszug in Pogg. Annalen[1]) bekannt, ich werde mir erlauben gleich die Originalabhandlung mit zu benutzen und ebenfalls die zweite Neumannsche Abhandlung von 1847 bis auf den § 5 dieser Arbeit, welcher auf das Webersche Gesetz Bezug hat, den werde ich erst später besprechen.

Franz Ernst Neumann ist am 11. April 1798 geboren in Ukermark, habilitierte sich 1826 an der Universität Königsberg, wo er 1828 zum Professor extraordinarius, dann 1829 zum ordinarius berufen wurde für Physik und Mineralogie. Seine Abhandlungen über die verschiedensten Gebiete der Physik sind sehr zahlreich, besonders wichtig sind die über die Theorie des Lichtes und die gleich zu behandelnden, sie alle zeichnen sich durch eine vorzügliche mathematische Behandlung und Klarheit aus. Denselben Vorzug haben seine Vorlesungen, die besonders noch deswegen so wertvoll sind, weil sich in ihnen viele Ableitungen und Sätze finden, die anderweitig gar nicht publiziert sind, sodaß es wünschenswert wäre, die ganze Reihe derselben publiziert zu sehen.

In den uns interessierenden Abhandlungen[2]) geht Neumann aus von dem Lenzschen Gesetz und der Voraussetzung,

---

1) Pogg. Annal. Bd. 67. 1846. pag. 31.

2) Abhandlungen der königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1845. pag. 1; 1847. pag. 1.

daß die Geschwindigkeit der Änderung des induzierenden Stromes (oder der magnetischen Resultante auf ein Leiterelement) klein ist, im Vergleich zu der Geschwindigkeit der Elektrizität. Es sind also ausgeschlossen die Induktionserscheinungen, welche von der Entladung einer Batterie herrühren. Man kann dann die Elemente, auf welche induziert wird, einteilen in 1) lineare mit nur einer möglichen Stromrichtung, repräsentiert durch Drähte; 2) Flächenelemente, worin nach zwei Richtungen hin Strömungen stattfinden können; 3) Körper, bei welchen ein Unterschied der Dimensionen nicht statt hat. Zunächst beschäftigt sich Neumann mit den linearen Stromleitern, schließt zunächst aber noch aus die Induktionen, welche durch Formveränderung der induzierenden Ströme hervorgerufen werden, sowie die Rückwirkung des induzierten Stromes auf den induzierenden. Wenn nun die Stärke der momentanen Induktion proportional ist der Geschwindigkeit (v), mit welcher der induzierte Strom die Bewegung ausführte, welche die Induktion veranlaßte, so ist das allgemeine Gesetz der linearen Induktion ausgedrückt durch die Gleichung:

$$E ds = -\varepsilon v . C . ds,$$

wenn ds ein Element des induzierten Drahtes ist, $E ds$ die induzierte elektromotorische Kraft in demselben, C die Komponente der von dem Inducenten auf ds ausgeübten Kraft nach der Richtung der Bewegung des Elementes ds, wenn dieses selbst von der Einheit des Stromes durchflossen gedacht wird; ε ist dann, nach den Experimenten von Lenz und Faraday, unabhängig von der Beschaffenheit und dem Querschnitt des induzierten Leiters, aber eine solche Funktion der Zeit, daß sie bei einiger Dauer sofort verschwindet; bei linearen Leitern kann man die Induktion als momentan voraussetzen, dann ist ε als Konstante zu behandeln.

Nun bestimmt Neumann die Stromstärke in einem Leiter s, indem er die erregte elektromotorische Kraft als eine Folge der durch die Induktion erregten Spannung betrachtet, und die durch einen Querschnitt strömende Elektrizitätsmenge berechnet. Es ergiebt sich, daß auch für den Fall, daß die elektromotorischen Kräfte Funktionen der Zeit sind (wenn nur die Veränderungen, welche E mit der Zeit erfährt, nicht mit

so großer Geschwindigkeit eintreten, daß diese einen merklichen Wert gegen die Geschwindigkeit der Elektrizität selbst besitzt), der Ohmsche Satz gilt: Die Stromstärke ist gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte, dividiert durch den Widerstand des Weges. Die induzierte Stromstärke ist demnach ausgedrückt durch das Integral

$$-\varepsilon . \varepsilon' . S(v . C . ds),$$

wo ε' den reziproken Wert des Widerstandes der Leitung bedeutet und S die Integration über alle bewegten Teile des Leiters. Multipliziert man diesen Ausdruck mit dem Zeitelement dt, so erhält man den induzierten Differentialstrom, dessen Maß die Wirkung ist, welche der induzierte Strom, während des Elementes der Zeit, z. B. auf eine Magnetnadel ausübt. Die Summe der Wirkungen, welche er in einer endlichen Zeit ausübt, ist das Maß des induzierten Integralstromes. Es ist sonach der Ausdruck für den Differentialstrom

$$D = -\varepsilon . \varepsilon' . dt . S(v . C . ds),$$

und für den Integralstrom

$$J = -\varepsilon . \varepsilon' . \int_{t=0}^{t=t} dt\, S(v . C . ds).$$

Durch Einführung des Wegelementes $dw = v\,dt$, ergiebt sich hieraus, daß der Wert dieser Ströme unabhängig ist von der Geschwindigkeit und nur abhängen kann von der Länge und Lage des durchlaufenen Weges.

Die elektromotorische Kraft des Differentialstromes ist das negative virtuelle Moment der Kraft $(\varepsilon . C . dw . ds)$, welche der Inducent auf den Leiter ausübt, wenn dieser von dem konstanten Strom ε durchströmt gedacht wird. Die Summe dieser virtuellen Momente, welche auf dem Wege von w_0 bis w_t erzeugt werden, ist die elektromotorische Kraft des Integralstromes; man kann also sagen: die elektromotorische Kraft des Integralstromes ist der Verlust an lebendiger Kraft, welchen der Inducent in dem Leiter hervorbringen würde, wenn dieser sich von w_0 bis w_t frei bewegte und von dem konstanten Strome ε durchströmt gedacht wird. Wenn die Wirkung des Inducenten auf einen bewegten Leiter nun ein Potential hat, und man die

Gleichgewichtsoberflächen konstruiert, für welche das Potential einen konstanten Wert hat, der mit „Druck“ auf diese Oberfläche bezeichnet werden soll, so ist J gleich der Differenz der Druckkräfte an den beiden Gleichgewichtsoberflächen am Anfang und Ende des Weges, wenn der Leiter während der Bewegung sich selbst parallel blieb. Dann ist also der Integralstrom unabhängig von der Lage und Länge des Weges und allein abhängig von der Lage der Endpunkte.

Führt man nun in die Betrachtung auch das Leiterelement $d\sigma$ des induzierenden Stromes von der Länge σ ein, so kann man die analoge Betrachtung auch für dieses durchführen und kommt zu dem Resultate: Wenn von 2 Leitern A und B der Leiter A sich gegen B bewegt, so wird dieselbe elektromotorische Kraft erzeugt, der induzierende Strom mag in A oder B fließen und die in A oder B erzeugten Ströme verhalten sich umgekehrt wie die Leitungswiderstände ihrer Bahnen. Für geschlossene Leiter ist es dabei gleichgültig, ob A sich gegen B bewegt, oder B gegen A, es muß nur die Bewegungsrichtung von B der von A entgegengesetzt sein.

Diese Betrachtungen lassen sich ausdehnen auf Magnet- und Solenoid-Pole; die Bewegung, welche ein Leiter in Bezug auf diese besitzt, läßt sich zusammengesetzt denken aus einer progressiven und drehenden Bewegung. Erstere soll die sein, welche der Pol haben würde, wenn er mit dem Leiter fest verbunden mit ihm zugleich bewegt würde, die zweite soll die um einen so bewegten Pol statthabende Drehung sein. Bezeichnet man nun mit dw das Wegelement der progressiven Bewegung, mit $\varkappa$ den freien Magnetismus des Poles und mit Γ die nach der Richtung von dw genommene Komponente der von dem durch den Leiter fließenden Strome 1 auf die Einheit des Magnetismus im Pole ausgeübten Kraft, so ist der Differentialstrom der progressiven Bewegung

$$= -\varepsilon . \varepsilon' . \varkappa . \Gamma . dw,$$

oder in Worten: die elektromotorische Kraft, durch die progressive Bewegung hervorgerufen, ist gleich der Geschwindigkeit des Poles, multipliziert mit der negativen in der Richtung der

Bewegung des Pols gemessenen Wirkung des Leiters auf den Pol, die Stromstärke im ruhenden Leiter $= \varepsilon$ gesetzt.

Der Differentialstrom durch die drehende Bewegung ist aber

$$= -\varepsilon . \varepsilon' . \varkappa . d\psi \ (\cos[a e''] - \cos[a e']),$$

wo $d\psi$ das Element des Drehungswinkels bedeutet; $a e''$ und $a e'$ die Winkel der Drehungsachse mit den vom Pol an die Endpunkte des Leiters gezogenen Linien. Daraus folgt: für einen geschlossenen Leiter ist der aus der drehenden Bewegung entstehende Differentialstrom unter allen Umständen $= 0$, man hat für geschlossene Leiter also nur die progressive Bewegung als Ursache der Induktion übrig behalten. Hat man dagegen einen ungeschlossenen Leiter, so entsteht durch Drehung freilich ein Strom, doch ist der nur abhängig von der Lage der Endpunkte, nicht von seiner Gestalt.

Dasselbe läßt sich sofort übertragen auf die Bewegung eines Poles bei ruhendem Leiter, und es sprechen sich die entstehenden Sätze so aus: Wenn ein Solenoidpol sich gegen einen ruhenden, geschlossenen Leiter bewegt, so hängt sein Induktionsstrom allein von seiner fortschreitenden Bewegung ab. Ein Pol, welcher keine fortschreitende Bewegung besitzt, induziert in einem geschlossenen Leiter keinen Strom, dagegen in einem nicht geschlossenen Leiter wird schon durch die Drehung eines Poles ein Strom erzeugt. Dieser letzte Teil des Satzes begreift den Weberschen Fall der unipolaren Induktion.

Die Magnetinduktion läßt sich nun hiernach erledigen, wenn man jedes Magnetmolekül als ein unendlich kleines Solenoid betrachtet. Dabei ist nun zu beachten, daß nach Gauß die Wirkung eines Magneten ersetzt werden kann durch auf der Oberfläche verteilte einzelne Pole; man hat dann zu beachten, daß eine Drehung des Magneten um seine Achse eine Drehung der substituierten Solenoidpole bedeutet, also hier wieder zu unterscheiden ist zwischen progressiver und drehender Bewegung, und man hat demnach, wenn $d o$ ein Oberflächenelement und $\varkappa\, d o$ der dort vorhandene Magnetismus ist, als Ausdruck für den Differentialstrom von der progressiven Bewegung herrührend

$$-\varepsilon . \varepsilon' . \Sigma do . dw . \varkappa . \Gamma$$

und von der drehenden Bewegung

$$-\varepsilon \varepsilon' . \Sigma do . d\psi . \varkappa (\cos[a e''] - \cos[a e']),$$

wenn sich die Summation Σ über die Oberfläche erstreckt.

Die Induktion durch erzeugten und verschwindenden Magnetismus läßt sich dann, da hier nicht von progressiver und drehender Bewegung die Rede sein kann, darstellen durch den Ausdruck

$$-\varepsilon \varepsilon' \Sigma do (\varkappa'' - \varkappa') V,$$

wo $\varkappa''$ und $\varkappa'$ die magnetischen Massen in do vor und nach der Veränderung des magnetischen Zustandes, V aber das Potential des von dem Strom 1 durchflossenen Leiters auf die Einheit des Magnetismus in do bedeuten.

Mit Hilfe des Potentials lassen sich nun alle Induktionserscheinungen unter ein gemeinsames Prinzip bringen: daß die Veränderung des Potentials, durch welches die Wirkung eines von der Einheit des Stromes durchströmten Leiters auf einen Magneten dargestellt wird, die Ursache und das Maß des induzierten Stromes ist, und es hierbei gleich gilt, wodurch diese Veränderung des Wertes des Potentials hervorgebracht wird, ob durch eine veränderte relative Lage des Magneten und des Leiters, oder durch einen andern Umstand, wie z. B. durch eine Schwächung des Magneten. Es ist dann stets die elektromotorische Kraft, welche induziert wird, gleich der Differenz der Werte, welche das Potential des Leiters in Bezug auf den ganzen Magneten zu Anfang und zu Ende der Bewegung hat, und die Stärke des Stromes ist gleich dem Zuwachs, welchen das durch den Leitungswiderstand dividierte Potential des Leiters erfährt. (Potential ist hier stets im Gaußschen Sinne gebraucht.)

Die Anwendung des Potentials erweist sich auch bei der Voltainduktion fruchtbar. Das Potential eines geschlossenen Stromes s mit der Intensität i auf einen Strom σ mit der Intensität i' in der Entfernung r ihrer Elemente ds und $d\sigma$ ist

$$= \tfrac{1}{2} i . i' \int\int \frac{\cos (ds\, d\sigma)}{r}\, ds . d\sigma$$

und die Anziehung der beiden Stromteile ds und $d\sigma$ ist

$$= \tfrac{1}{2} i . i' \, ds . d\sigma . \frac{\cos (ds \, d\sigma)}{r^2}.$$

Dies wie oben angewandt ergiebt den Satz: die in einem geschlossenen Leiter durch einen geschlossenen galvanischen Strom induzierte elektromotorische Kraft, sei es, daß der Leiter oder daß der Strom eine Ortsveränderung erfährt, ist gleich der Differenz der Werte, welche das Potential des Leiters, bezogen auf den ganzen galvanischen Strom, am Anfang und Ende der Bewegung besitzt.

Will man dies Resultat auch auf die Fälle anwenden, wo durch das Auftreten oder Verschwinden eines Stromes Induktion ausgeübt wird, wobei es fraglich ist, ob dies zulässig sei, da angenommen war, daß die Zeit des Entstehens oder Verschwindens klein sein sollte im Vergleich mit der Geschwindigkeit der Elektrizität, so würde man sagen: der durch das plötzliche Auftreten eines Stromes in einem ruhenden Leiter induzierte Strom ist gleich dem, als hätte sich der Leiter aus großer Entfernung dem Strome bis an die Stelle, wo er sich befindet, genähert.

Die beiden zuletzt erwähnten Formeln über das Potential und die Anziehung geben nun auch die Möglichkeit, die Betrachtung auf ungeschlossene Ströme auszudehnen und führen zu dem allgemeinen Resultate: die elektromotorische Kraft, welche in einem unter dem Einfluß eines geschlossenen Stromes σ bewegten Leiter s induziert wird, ist gleich dem Potential von σ in Bezug auf das geschlossene Viereck, welches aus der Kurve des Leiters selbst in ihrer Anfangs- und Endposition und den während seiner Bewegung von seinen Endpunkten beschriebenen Kurven gebildet wird, wenn dieses Viereck von einem Strom ε durchflossen gedacht wird.

Eine wesentliche Vereinfachung gewährt die Einführung der Kegelöffnung (dem Analogon zu Gauß' räumlichen Winkel). Neumann bezeichnet mit der Kegelöffnung von s in Bezug auf den Punkt (x, y, z) oder den Ort λ das Stück der Kugelfläche, welches durch einen Kegel, dessen Spitze in (x, y, z) liegt

und dessen Grundfläche durch die geschlossene Kurve s gebildet wird, aus einer um den Punkt (x, y, z) beschriebenen Kugel von Radius 1 ausgeschnitten wird, diese Kegelöffnung bezeichnet er mit K. Dann ist z. B. das Potential eines den kleinen ebenen Raum λ umkreisenden Stromes von der Intensität 1 auf den geschlossenen Strom s von der Intensität 1 dargestellt durch die Formel $V = \frac{1}{2}\lambda \frac{dK}{dN}$, wenn N die Normale auf λ ist, oder das Potential eines Magnetpols mit dem freien Magnetismus $\varkappa'$ ist $= \varkappa' K$. Mit Hilfe dieses Satzes ergiebt sich nun auch der für die unipolare Induktion schon von Weber abgeleitete Satz: Wenn sich ein Magnetpol in einer geschlossenen Bahn bewegt hat, so ist die Summe der dadurch in einem geschlossenen Leiter s induzierten elektromotorischen Kräfte $= 0$, es sei denn, daß die Bahn des Poles die Ebene von s innerhalb der Begrenzung geschnitten hat. Dem fügt Neumann noch neu hinzu: so oft das Schneiden von der positven Seite her erfolgte, ist die elektromotorische Kraft vom Werte $-4\pi\varepsilon\varkappa$, und bei einem Schnitt von der negativen Seite her ist die Kraft $+4\pi\varepsilon\varkappa$ induziert worden.

Diese Sätze wendet Neumann zum Schluß seiner Abhandlung an auf einzelne Probleme, um ihren Nutzen zu demonstrieren; 1) auf das Webersche Induktions-Inklinatorium. Die Drehungsachse sei parallel der Ebene des Leiters, sie stehe erstens horizontal und sei

a) senkrecht zum magnetischen Meridian, dann ist der Strom der halben Umdrehung $= 2\,\varepsilon \,.\, \varepsilon' \,.\, M \,.\, F$;

b) parallel zum magnetischen Meridian, dann ist der Strom der halben Umdrehung $= 2\,\varepsilon \,.\, \varepsilon' \,.\, M \,.\, F \,.\, \sin i$;

zweitens die Drehungsaxe stehe vertikal, dann ist der Strom der halben Umdrehung $= 2\,\varepsilon \,.\, \varepsilon' \,.\, M \,.\, F \,.\, \cos i$,

wo immer M die Intensität des Erdmagnetismus, F die vom Strom umflossene Ebene, i die Inklination bedeutet. 2) Die Induktion in einer Drahtspule von der Länge L und der Windungszahl n durch Magnetisierung eines cylindrischen Eisenkernes, dessen Grundfläche f ist, der Durchmesser der Windungen sei R, dann ist durch Erzeugung des Magnetismus $\varkappa$ in einer Stelle der Grundfläche des Eisenkernes in der Spule ein Strom induziert von der Stärke

$$-4\pi\varepsilon.\varepsilon'\varkappa.f.n.\left\{\sqrt{1+\left(\frac{R}{L}\right)^2}-\frac{R}{L}\right\}.$$

Ist $\frac{R}{L}$ klein, so ist die Stromstärke unabhängig von der Lage auf dem Magneten und von dem Durchmesser der Rolle; dies gilt für den Gauß-Weberschen Induktor, welcher bei den telegraphischen Experimenten gebraucht wurde. 3) Neumann behandelt die Induktion in dem Weberschen Rotationsinduktor und die Ettinghausensche magnet-elektrische Maschine. Endlich 4) machte Neumann die Anwendung auf die Webersche unipolare Induktion, es sei h die Länge des Magneten, R der Radius des schleifenden Rades, f und $\varkappa$ dieselben Größen wie oben, dann ist die Stärke des Inductionsstromes:

$$J=-\frac{4\pi\varepsilon.\varepsilon'.f.\varkappa}{\sqrt{1+\left(\frac{2R}{h}\right)^2}}.$$

329. Soweit Neumann in seiner ersten Abhandlung. An die Spitze der zweiten Abhandlung[1]) stellt Neumann ein allgemeines Theorem, welches sich auch auf die Veränderungen der Form des betrachteten Leiters bezieht. Es läßt sich so aussprechen:

Wird ein geschlossenes, unverzweigtes, leitendes Bogensystem A' durch eine beliebige Veränderung seiner Elemente, aber ohne Aufhebung der leitenden Verbindung, in ein anderes von neuer Form und Lage übergeführt, und geschieht diese Veränderung von A' in A'' unter dem Einfluß eines elektrischen Stromsystems B', welches gleichzeitig durch eine beliebige Verrückung seiner Elemente eine Veränderung in Lage, Form und Intensität von B' in B'' erfährt, so ist die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche in dem leitenden Bogensystem durch diese Veränderungen induziert worden sind, gleich dem mit der Induktionskonstante ε multiplizierten Unterschied der Potentialwerte des Stromes B'' in Bezug auf A'' und des Stromes B' in Bezug auf A', wenn A' und A'' von der Stromeinheit durchströmt gedacht werden.

---

1) Abhandlungen der königl. Akademie zu Berlin. 1847. pag. 1.

Dieses Prinzip wird in den folgenden vier Paragraphen abgeleitet; zunächst für den Fall, daß der induzierende Strom einen ruhenden Leiter durchfließt, während der Stromleiter, in welchem induziert wird, eine Formveränderung erleidet durch Verrückung einzelner Teile, z. B. wenn er aus zwei übereinander liegenden Winkeln aus Leitungsdraht besteht und diese aufeinander fortgezogen werden. Dann sind besonders zu beachten die „Gleitstellen“, wo ein Teil des Stromes über einem anderen mit einem gewissen Drucke fortgeht, offenbar gilt der Satz nun sofort für die zwischen zwei solchen Gleitstellen liegenden Leiterstücke. Nun aber weißt Neumann nach, daß er auch für die Gleitstellen selbst gilt, solange zunächst keine Verzweigung eintritt. Hat man letztere, so wird der Satz gelten für jeden in sich geschlossenen Stromkreis. Durch Summation ersieht man dann, daß er allgemein gilt.

Der zweite zu betrachtende Fall ist offenbar der umgekehrte: der Leiter ruht und ist konstant in Bezug auf seine Form und Lage, aber die Elemente des induzierenden Stromes werden in beliebiger Weise bewegt, wobei nur vorausgesetzt wird, daß der Strom in einem einfachen Leiterkreise eine konstante Stärke besitzt; dies ist erstens der Fall, wenn keine Gleitstellen vorhanden sind, also der Stromkreis sich als Ganzes bewegt; aber auch mit Gleitstellen wird diese Bedingung erfüllt, wenn nur die Veränderungen in den Leitungswiderständen der Bahnstücke sich kompensieren. Wenn nun die ersten und zweiten Veränderungen gleichzeitig eintreten, d. h. wenn drittens sowohl die Elemente des Leiterkreises, wie auch die des induzierenden Stromes bewegt werden, so erhält man die elektromotorische Kraft zunächst als Summe der durch die einzelnen Bewegungen erzeugten, diese stellt sich aber schließlich wieder dar als die Differenz der Potentiale aus der Endposition minus der Anfangsposition. Schließlich muß noch der Fall betrachtet werden, daß bei den Bewegungen gleichzeitig auftreten Veränderungen der Stromstärke, dabei muß das in der ersten Abhandlung abgeleitete Resultat benutzt werden, daß die durch Intensitätsänderung des Stromes bewirkte elektromotorische Kraft in dem Leiterkreise s proportional ist der Potentialdifferenz des Inducenten σ in seinen zweierlei Intensitätszuständen i' und i'' in Bezug auf

die Stromeinheit in dem Leiterkreise *s*. Führt man nun die Summation in geeigneter Weise aus, so erhält man den obigen Satz auch in diesem allgemeinsten Falle.

330. Weder von Fechner noch Neumann waren nun aber genaue messende Versuche angestellt. Diese Aufgabe löste Weber.[1]) Er prüfte zunächst sein Dynamometer, ob es brauchbar sei zu Induktionsbeobachtungen. Er setzte die in sich selbst geschlossene Bifilarrolle in Schwingungen und ließ durch die feste Drahtrolle einen Strom von drei Groveschen Elementen gehen, oder auch der Strom wird durch die schwingende Bifilarrolle gesendet und die feste Multiplikatorrolle wird in sich geschlossen. Im ersten Falle entsteht ein Strom in der Bifilarrolle durch Bewegung eines Leiters bei einem ruhenden Strom, im zweiten wird durch einen bewegten Strom in einem ruhenden Stromleiter eine Induktion hervorgerufen. Nach dem Lenzschen Gesetz muß nun in beiden Fällen eine Verzögerung der Schwingung der Bifilarrolle eintreten, da ja die Richtung der Ströme derart ist, daß ihre elektrodynamische Wirkung auf einander die Bewegung zu hemmen sucht, durch welche die Induktion erfolgte. Man muß also nicht wie bei den früheren Versuchen „Standbeobachtungen" machen, sondern die Schwingungsbogen und deren Veränderung beobachten. Um nun die Abnahme derselben, welche durch die Induktion bedingt ist, zu erhalten, unabhängig von der durch die mechanischen Ursachen bedingten natürlichen Abnahme, beobachtet Weber zunächst die Schwingungsbögen bei geöffneter Kette und bestimmt das „logarithmische Dekrement", wie es von Gauß bei magnetischen Beobachtungen eingeführt ist, d. h. den Logarithmus des Verhältnisses zweier auf einander folgender Schwingungsbögen. Es ergab sich bei offener Kette das log. Dekrement = 0,002 414, d. h. nach 124,7 Schwingungen ist der Bogen auf die Hälfte vermindert. War die Bifilarrolle geschlossen und ging durch die Multiplikatorrolle ein Strom von drei Groveschen Elementen, so ergab sich bei analogen Beobachtungen das log. Dekrement = 0,005 620, also nach 53,564 Schwingungen eine Reduktion auf den halben Bogen.

1) Abhandl. bei Begründung der königl. sächs. Gesellsch. der Wissensch. zu Leipzig. 1846. pag. 269.

Aus der Diskussion dieser Beobachtungen ergeben sich zunächst die beiden bekannten Sätze, daß die Richtung des induzierten Stromes sich mit der Bewegungsrichtung ändert, und zwar, daß bei Annäherung paralleler Drahtelemente ein dem induzierenden Strome entgegengesetzter, bei Entfernung ein ihm gleichgerichteter Strom induziert wird. Dann aber leitet Weber die beiden neuen Sätze ab: 1) daß die Intensität des induzierten Stromes der Geschwindigkeit der induzierenden Bewegung proportional ist, und 2) daß die absolute Stärke der Volta-Induktion gleich ist der Magneto-Induktion in der in sich geschlossenen Bifilarrolle, wenn jene von einem durch die feste Rolle geleiteten galvanischen Strom, diese durch Magnete hervorgebracht wird, welche in einer solchen Lage gegen die Bifilarrolle sich befinden, bei welcher, wenn durch die Bifilarrolle ein Strom geht, das elektrodynamische Drehungsmoment jenes Stromes dem elektromagnetischen dieser Magnete gleich ist.

Aus diesen Beobachtungen läßt sich unter anderen auch die Geschwindigkeit berechnen, womit die Bifilarrolle gedreht werden muß, damit der induzierte Strom ebenso stark ist, wie der induzierende. Weber findet, die Rolle muß in einer Sekunde 31 mal herumgedreht werden.

Eine direkte Bestätigung dieses Weberschen Satzes haben später Felici[1]) und Gaugain[2]) unternommen; besonders auf ein Experiment des ersteren möchte ich hier noch aufmerksam machen. Felici stellt neben eine mit einem Galvanometer verbundene Drahtrolle *A* zwei andere *B* und *C*, die so aufgestellt werden, daß wenn durch beide gleichzeitig der Strom geht, beim Schließen und Öffnen desselben in *A* keine Induktion ausgeübt wird, dann wird auch keine Induktion ausgeübt, wenn beide Drahtrollen *B* und *C* gleichzeitig bei geschlossenem Strome entfernt werden. Ist dagegen die Stellung

1) Nuovo Cimento. Bd. 9. 1859. pag. 345.
2) Comptes rend. Bd. 39. pag. 909 u. 1023.

der beiden Drahtrollen so, daß beim Schließen und Öffnen noch eine Induktion erfolgt, so zeigt sich bei Entfernung der Rollen dieselbe Induktion, wie beim Öffnen des Stromes.

331. In den folgenden Abschnitten giebt Weber eine Reihe interessanter Anwendungen seines Dynamometers. Es ist für physiologische Wirkungen der Ströme durchaus nicht gleichgültig, ob man einen kontinuierlichen Strom anwendet, oder eine schnelle Aufeinanderfolge momentaner Ströme, denn die ersteren machen die sensibeln Nerven sehr bald unempfindlich; für letztere ist es aber von Wichtigkeit, Intensität und Stromdauer zu kennen, beide können bestimmt werden durch Kombination eines Galvanometers mit einem Dynamometer. Bezeichnen s und σ die Schwingungsdauer des Galvanometers resp. Dynamometers, e' und ε' die Ablenkungen in den Apparaten beim Durchgange des konstanten Stromes i'' durch beide Instrumente, e und ε die Elongationen in dem Galvanometer und Dynamometer, wenn der Strom von der Dauer Θ und der Intensität i hindurchgeht, so ist

$$\Theta = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{s^2}{\sigma} \cdot \frac{\varepsilon'}{e'^2} \cdot \frac{e^2}{\varepsilon} \text{ und } i = \frac{\sigma}{s} \cdot \frac{e'}{\varepsilon'} \cdot i'' \cdot \frac{\varepsilon}{e}.$$

Ebenfalls durch Anwendung beider Meßapparate war es möglich, die Wirkung des Entladungsstromes einer Leydener Batterie zu beobachten. Um die Entladung zu verzögern, bediente sich Weber einer 320^{mm} langen und 4^{mm} dicken angefeuchteten Hanfschnur und erhielt entsprechend starke Elongationen im Galvanometer und Dynamometer, während bei Anwendung einer Wasserröhre oder eines Argentandrahtes der Versuch nicht gelingen wollte, sobald aber Glasfäden zu einem Bündel vereinigt und mit Wasser benetzt die Entladung bewirkten, zeigte sich wieder ein kräftiger Ausschlag. Weber beobachtete nun die Verzögerung durch Verlängerung der Schnur und fand folgende Werte:

Länge der Schnur in Millimeter.	Dauer des Funkens.	Berechnete Dauer.	Fehler.
2000	0,0851	0,0816	− 0,0035
1000	0,0345	0,0408	+ 0,0063
500	0,0187	0,0204	+ 0,0017
0	0,0095	0,0102	+ 0,0007

Die berechneten Werte sind nach der Annahme gemacht, daß die Dauer proportional der Länge sei, und die beobachteten Werte der zweiten Kolumne sind Mittelwerte aus je zwei Beobachtungen. Auch würde sich auf analoge Weise das Dynamometer gebrauchen lassen zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektrizität.

Eine besonders interessante Anwendung macht Weber von seinem Dynamometer zur Bestimmung der Intensität eines Tones. Die Galvanometer sind nur imstande, von dauernden Strömen oder von kurz geschlossenen einmaligen Strömen Rechenschaft zu geben, dagegen bleibt die Nadel in absoluter Ruhe, wenn schnell wechselnde Ströme durch den Multiplikator gesendet werden, bei welchen ehe die Nadel dem Bewegungsimpulse nach der einen Seite folgen kann, bereits ein Impuls nach entgegengesetzter Seite eintritt (vergl. auch pag. 420). Nun ist die Richtung des Stromes für das Dynamometer ganz gleichgültig, es kommt nur auf die relative Richtung zwischen den Strömen in der Multiplikator- und Bifilarrolle an. Nun wird aber selbstredend bei der ursprünglichen Verbindung zwischen den beiden Rollen des Apparates die Richtung des Stromes in der Bifilarrolle gleichzeitig mit der Richtungsänderung in der Multiplikatorrolle geändert, sodaß die relative Lage der Ströme bei jedem Wechsel dieselbe bleibt. Während daher schnell ihre Richtung ändernde Ströme für ein Galvanometer ihre Wirkung aufheben, werden sie beim Dynamometer ihre Wirkung summieren.

Infolge dieser Überlegung nahm Weber einen magnetisierten Klangstab von Stahl und legte denselben auf zwei Unterlagen, sodaß die freistehenden Enden gleich lang und nahezu gleich der halben Länge des Stabteiles zwischen den beiden Unterlagen sind. Die Enden umgab Weber mit zwei viereckigen Drahtspulen, deren Windungsebene ebenfalls horizontal lag. Da beide Enden des Stabes gleich stark nach gleicher Richtung schwingen, so induzieren sie auf dieselbe Weise Ströme in den umgebenden Drahtspulen; werden diese in das Dynamometer geleitet, so ergiebt sich eine Ablenkung. Je stärker die Schwingung, also je intensiver der Ton, um so stärker die Ablenkung. Will man messende Versuche ausführen, so hat man entweder für eine konstante Erhaltung des Tones, also der

Schwingungen des Stabes zu sorgen, oder man dämpft die Schwingung des Tones, sobald die Bifilarrolle nach der ersten Elongation zurückkehrt, und giebt einen neuen Schlag auf den Stab, wenn die Rolle wieder ausschwingt; denn wenn man den Stab ruhig bis zu Ende schwingen läßt nach seiner ersten Elongation, wird selbstverständlich die Intensität fortdauernd geringer und schließlich wird die aus den Schwingungen der Bifilarrolle abzuleitende Ruhelage wieder zusammenfallen mit der ursprünglichen Ruhelage der Rolle.

Weber giebt ferner mehrere verschiedene Arten des Dynamometers an, worunter auch eine ist, wo die Bifilarrolle ihren Strom für sich von einem sich mitdrehenden Element erhält, welches also an Oerstedts erste Konstruktion eines drehbaren Stromkreises erinnert (cf. pag. 197).

332. Nach diesen experimentellen Abschnitten folgt der wichtigste, der theoretische.[1]) Das Ampèresche Grundgesetz scheint alle elektrodynamischen Erscheinungen zu erklären, und man würde sich damit begnügen können, obwohl die elektrostatischen dann für sich ständen und die elektrodynamischen für sich, allein es giebt eine Klasse von Erscheinungen, die das Ampèresche Gesetz nicht zu erklären vermag, die der Voltainduktion. Durch den Nachweis der Ersetzbarkeit der Voltainduktion durch Magnetoinduktion und durch die auf Thatsachen gegründeten Induktionsgesetze, könnte man auch dieses Gebiet als abgeschlossen betrachten und hätte dann drei nebeneinander bestehende Gruppen, die für sich erklärt wären, denen es aber an jeder Verbindung fehlte. Die Natur fordert nun aber, da es sich bei allen dreien um elektrische, in ihren verschiedenen Wirkungen gleiche Erscheinungen handelt, eine für alle drei gültige Basis. Drei spezielle Thatsachen sind es, wovon man ausgehen kann.

1) Die Thatsache, daß zwei Stromelemente, welche in einer geraden Linie liegen, mit welcher ihre Richtung zusammenfällt, einander abstoßen oder anziehen, je nachdem sie von der

---

1) Abhandl. bei Begründ. der sächs. Gesellsch. 1846. pag. 305; die einste Form des Gesetzes auf pag. 327.

Elektrizität in gleichem oder entgegengesetztem Sinne durchflossen werden.

2) Die Thatsache, daß zwei parallele Stromelemente, welche mit ihrer Verbindungslinie rechte Winkel bilden, einander anziehen oder abstoßen, je nachdem sie von der Elektrizität in gleichem oder entgegengesetztem Sinne durchflossen werden.

3) Die Thatsache, daß ein Stromelement, welches mit einem Drahtelement in einer geraden Linie liegt, mit welcher die Richtungen beider Elemente zusammenfallen, einen gleich oder entgegengesetzt gerichteten Strom in dem Drahtelemente induziert, je nachdem seine eigene Stromstärke abnimmt oder zunimmt.

Diese Thatsachen erfordern ein elektrisches Erklärungsprinzip; denn wenn gleich die beiden ersten Sätze sich zunächst auf Kräfte beziehen, die auf die ponderabelen Stromträger wirken, so lassen sie sich doch als Resultanten der auf die in den ponderabelen Trägern vorhandenen elektrischen Massen wirkenden elektrischen Kräfte auffassen. Diese in den Stromträgern vorhandenen elektrischen Massen sind nun als positiv und negativ zu unterscheiden, wir haben daher vier Wechselwirkungen zwischen $+e$ und $+e'$, zwischen $+e$ und $-e'$, zwischen $-e$ und $+e'$ und endlich zwischen $-e$ und $-e'$.

Wollte man hierauf das Coulombsche elektrostatische Gesetz anwenden, so wäre die Resultante $= 0$. Die erste Thatsache lehrt aber, daß dies nicht der Fall ist, sondern daß die abstoßenden und anziehenden Kräfte verschieden sein müssen, sobald es sich um Bewegung der elektrischen Massen handelt, und zwar wirken die elektrischen Massen, welche in entgegengesetztem Sinne bewegt werden, schwächer auf einander, als diejenigen, welche in gleichem Sinne bewegt werden, und ferner wirken sie um so schwächer, je größer das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeiten ist.

Bezeichnet r den Abstand der beiden elektrischen Massen, u und u' die absoluten Geschwindigkeiten von $+e$ und $+e'$, $-u$ und $-u'$ die absoluten Geschwindigkeiten von $-e$ und $-e'$, so ergeben sich die relativen Geschwindigkeiten nach folgendem Schema:

$+e$ und $+e'$ die relative Geschwindigkeit $\frac{dr}{dt} = u - u'$

$-e$ „ $-e'$ „ „ „ $\frac{dr}{dt} = -u + u'$

$+e$ „ $-e'$ „ „ „ $\frac{dr}{dt} = +u + u'$

$-e$ „ $+e'$ „ „ „ $\frac{dr}{dt} = -u - u'$

Hieraus folgt für gleichartige Massen eine von $(dr/dt)^2 = (u - u')^2$ abhängige Schwächung, und für ungleichartige Massen eine von $(dr/dt)^2 = (u + u')^2$ abhängige Schwächung.

Der einfachste Ausdruck für die Kraft würde also erhalten, indem die elektrostatische Kraft mit einem Faktor $(1 - a^2(dr/dt)^2)$ multipliziert wird, sodaß der vollständigere Ausdruck der Kraft wäre $\frac{ee'}{r^2}\left(1 - a^2\left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right)$. Die Summe der Abstoßungen der beiden gleichartigen Massen ist dann

$$= + 2\frac{ee'}{r^2}\left(1 - a^2(u - u')^2\right)$$

und die Summe der Anziehungen der beiden entgegengesetzten Massen ist

$$= - 2\frac{ee'}{r^2}\left(1 - a^2(u + u')^2\right)$$

und die Resultante aller vier Wechselwirkungen, oder die Kraft, welche von den elektrischen Massen auf den Stromträger selbst übertragen wird, ist $= + 8\frac{ee'}{r^2}a^2 . u . u'$, also ganz in Übereinstimmung mit dem Ampèreschen Fundamentalgesetz.

Für alle unter die zweite der oben angeführten Thatsachen zu subsummierenden Fälle ist nun aber $dr/dt = 0$, d. h. hier läßt uns der eben geschaffene erweiterte Ausdruck für die Kraft im Stiche. Untersucht man aber die zweite Ableitung von r nach der Zeit, oder die relative Beschleunigung $\frac{d^2r}{dt^2}$, so tritt deren Bedeutung hier besonders hervor. Nimmt man also an, daß die Größe der Wechselwirkung bewegter elektrischer Massen nicht bloß von dem Quadrate der Geschwindigkeiten abhängt, sondern auch von ihrer relativen Beschleunigung, so ist der einfachste Ausdruck der Kraft, welche zwischen zwei solchen Stromteilchen wirkt,

$$\frac{e e'}{r^2}\left(1 - a^2\left(\frac{d r}{d t}\right)^2 + b \cdot \frac{d^2 r}{d t^2}\right),$$

wo a dieselbe Konstante wie oben, b eine neue von der Geschwindigkeit und Beschleunigung unabhängige Konstante bedeutet. Beachtet man nämlich, daß wenn r den Abstand der + elektrischen Massen bedeutet, R aber den der Stromelemente, zu Anfang der Betrachtung zwar $r = R$ ist, nach der Zeit t aber die Gleichung gilt $r^2 = R^2 + (u - u')^2 t^2$, und daß R, u und u' konstant sind, so ergiebt sich durch Differentiation:

$$r . d r = (u - u')^2 t . d t, \text{ also } \frac{d r}{d t} = \frac{(u - u')^2}{r} t,$$

und durch nochmalige Differentiation:

$$r d^2 r + d r^2 = (u - u')^2 d t^2 \text{ oder } \frac{d^2 r}{d t^2} = \frac{(u - u')^2}{r}\left(1 - \frac{(u - u')^2}{r^2} t^2\right).$$

Für den betrachteten Augenblick $t = 0$, ist also

$$\frac{d r}{d t} = 0 \text{ und } \frac{d^2 r}{d t^2} = \frac{(u - u')^2}{r}.$$

Setzen wir diesen zweiten Wert in unsern Ausdruck für die Kraft ein, so erhält man für die Kraft zwischen $+e$ und $+e'$ den Ausdruck:

$$+\frac{e . e'}{r^2}\left(1 + \frac{b}{r}(u - u')^2\right);$$

analog die drei andern Wechselwirkungen und als Resultante aus allen vier Fällen die auf die Stromträger wirkende Kraft

$$= -8 \frac{e e'}{r^2} \cdot \frac{b}{r} . u . u'$$

ganz in Übereinstimmung mit dem Ampèreschen Gesetz. Durch direkte Vergleichung mit diesem, wonach die Abstoßung zweier Stromelemente folgende ist: $-\frac{i . i'}{r^2}(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\vartheta . \cos\vartheta') ds . ds'$ [1]) ergiebt sich die Bedingung zwischen a und b, daß $a^2 = \frac{1}{2}\frac{b}{r}$ ist, setzt man diesen Wert in den Weberschen Ausdruck ein, so ergiebt sich die Abstoßungskraft

$$= \frac{e . e'}{r^2}\left(1 - a^2\left(\frac{d r}{d t}\right)^2 + 2 a^2 r \frac{d^2 r}{d t^2}\right).$$

1) Siehe Ampères Theorie pag. 235.

333. Bisher ist zur Ableitung dieses Ausdruckes nur Rücksicht genommen auf die beiden ersten Thatsachen, es fragt sich, ob die dritte Thatsache diese Form auch fordert, ober besser, ob diese Form die dritte Thatsache, die der Induktion, als Folge ergiebt. Ist letzteres der Fall, so ist das ein Grund für die wahrscheinliche Gültigkeit dieses Gesetzes für alle Beziehungen. Es ist zunächst klar, daß die Summe der beiden Kräfte, welche von der positiven und negativen elektrischen Masse in dem Stromelemente auf die ruhende positive Masse in dem stromlosen Leiterelement nach der Richtung derselben ausgeübt werden, verschieden sein muß von der analogen Summe der Kräfte, welche von denselben Massen auf die negative Masse in dem Leiterelement nach der Richtung desselben ausgeübt werden, daß aber die Differenz dieser beiden Summen, d. h. die elektromotorische Kraft selbst, abhängig sei von der Geschwindigkeitsänderung der beiden elektrischen Massen in dem gegebenen Stromelemente, und mit dieser wachse oder abnehme und verschwinde. Will man den Ausdruck für die Kraft ableiten, so hat man zu beachten, daß in diesem dritten Falle immer $u' = 0$ zu setzen ist, und der Wert von r nach der Zeit t durch die Gleichung

$$r = R \pm \int_{t=0}^{t=t} u\,dt$$

gegeben ist. Dann ist $dr/dt = \pm u$; $d^2r/dt^2 = \pm du/dt$, und die Differenz der auf die positive und negative Elektrizität im Leiterelement ausgeübten Kräfte, d. h. die elektromotorische Kraft ist gegeben durch

$$E = \pm 8 \frac{ee'}{r} \cdot a^2 \frac{du_0}{dt};$$

wo u_0 die Geschwindigkeit der Teilchen e zu Anfang der Zeit t ist.

Dies Resultat stimmt mit den Beobachtungen überein; denn es ist die elektromotorische Kraft der Induktion proportional der Änderung der Stromintensität des induzierenden Stromes und umgekehrt proportional dem Abstande der beiden Stromelemente.

Nun wendet sich Weber dazu, etwaige Bedenken gegen die Einführung der Abhängigkeit von der Zeit durch das Auf-

treten von relativer Geschwindigkeit und Beschleunigung in ein Fundamentalgesetz zu zerstreuen. Er sagt mit Recht, wenn die Analogie mit andern Fundamentalgesetzen der Physik, z. B. dem Gravitationsgesetz, auch die Entfernung dieser beiden Ausdrücke aus einem Fundamentalgesetz wünschenswert mache, so beweise diese Analogie doch gar nichts, denn wenn man mit Masse und Entfernung nicht mehr auskomme zur Erklärung von Erscheinungen, so sei es eben notwendig, andere Wege zu suchen. Zur vollständigen Bestimmung zweier Massen gehöre aber auch die Bestimmung über ihre relative Lage, und auch das Prinzip der Beharrung habe ja direkt die Geschwindigkeit des Körpers zum Gegenstande. Es ist wunderbar, daß gerade diese Bedenken, die Weber hier bespricht, später von anderer Seite als ein wesentlicher Vorwurf gegen sein Gesetz erhoben worden sind.

334. Diese empirische Ableitung des Gesetzes genügt Weber noch nicht, er stellt sich die mathematische Aufgabe, die Ampèresche Formel (siehe oben) so umzuformen, daß i und i', die Winkel ε, ϑ und ϑ' daraus verschwinden, und nur noch die elektrischen Massen selbst, sowie Größen, die sich auf ihre gegenseitigen Verhältnisse beziehen, darin vorkommen. Die darin auftretenden Cosinus der Winkel hatte Ampère selbst bereits anderweitig ausgedrückt durch folgende Werte:

$$\cos\vartheta = \frac{dr}{ds}; \quad \cos\vartheta' = -\frac{dr}{ds'}; \quad \cos\varepsilon = -r\frac{d^2r}{ds.ds'} - \frac{dr}{ds}\cdot\frac{dr}{ds'}.$$

Es handelt sich also zunächst darum, i und i' anderweitig zu bestimmen. Sei in dem Stromelement 1 die Masse + Elektrizität e, so ist in ds die Masse $= e\,ds$. Da nun die Stromintensität i proportional ist der in der Zeit 1 durch den Querschnitt der Kette fließenden Elektrizitätsmenge, so kann man setzen $\frac{i}{a}:e = u:1$, also $i = a.e.u$, wo a aber eine andere Konstante wie oben ist. Die Ampèresche Formel erhält also den Ausdruck

$$-\frac{e\,ds.e'\,ds'}{r^2}.a^2.u.u'\left(\frac{1}{2}\frac{dr}{ds}\cdot\frac{dr}{ds'} - r\cdot\frac{d^2r}{ds.ds'}\right).$$

Nun drückt Weber die Differentiale dr/dt und d^2r/dt^2 aus durch u, u', dr/ds und dr/ds', macht die gleiche Über-

legung für die negativen elektrischen Massen und bestimmt die $u, u', dr/ds, dr/ds'$ etc. durch dr/dt, substituiert und findet für die Ampèresche Formel folgende

$$-\frac{a^2}{2}\cdot\frac{eds.e'ds'}{r^2}\left(\frac{1}{4}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2-\frac{1}{2}r\frac{d^2r}{dt^2}\right)$$
$$+\frac{a^2}{2}\cdot\frac{eds.e'ds'}{r_2^2}\left(\frac{1}{4}\left(\frac{dr_2}{dt}\right)^2-\frac{1}{2}r_2\frac{d^2r_2}{dt^2}\right);$$

wo r_2 den Abstand der ungleichartigen elektrischen Massen bedeutet.

Dieser Ausdruck läßt sich in vier Teile je nach den Wirkungen zwischen $\pm e$ und $\pm e'$ zerlegen, welche, wenn man Rücksicht nimmt auf die Vorzeichen der e, sich zusammenfassend darstellen lassen in der allgemeinen Form des elektrischen Grundgesetzes:

$$\frac{e.e'}{r^2}\left\{1-\frac{a^2}{16}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+\frac{a^2}{8}r\frac{d^2r}{dt^2}\right\}.$$

335. Auf die folgenden Abschnitte ist es nicht möglich mit gleicher Ausführlichkeit einzugehen, ich werde mich da auf kurze Inhaltsangabe beschränken müssen. Nachdem das Grundgesetz einmal gefunden, kann man dasselbe an die Spitze der ganzen Elektrizitätsentwicklung stellen, dasselbe z. B. anwenden auf zwei konstante Stromelemente, welche in der Entfernung r aufeinander wirken; da ergiebt sich das Ampèresche Gesetz, welches alle Wirkungen gleichförmiger elektrischer Strömungen in ruhenden Leitern umfaßt. Man kann aus dem Gesetz aber auch die Theorie der Voltainduktion ableiten im weitesten Sinne, denn wenn das Webersche Gesetz ein Fundamentalgesetz ist, so muß es nicht nur die Voltainduktion erklären, sondern auch alle Wirkungen ungleichförmiger elektrischer Strömungen in bewegten Leitern. Zunächst ergeben sich die einzelnen Fälle der Voltainduktion.

1) Der induzierende Strom ist konstant und liegt fest, der Leiter wird bewegt, in welchem induziert werden soll. Schreibt man die vier auftretenden Wirkungen nach dem Weberschen Gesetz hin und bildet die Summe der einzelnen, so ist sie 0, die Differenz aber zwischen der Wirkung auf das positive und auf das negative Teilchen giebt einen dem Ampèreschen Aus-

druck entsprechenden Wert der auftretenden Kraft. Die Komponente derselben in der Richtung des induzierten Elementes ist die elektromotorische Kraft

$$= -\frac{ds.ds'}{r^2} i(\cos\varepsilon - \tfrac{3}{2}\cos\vartheta . \cos\vartheta') . au' . \cos\varphi ,$$

wo u' die Geschwindigkeit ist, mit welcher ds' bewegt wird und φ der Winkel zwischen r und ds' ist.

2) Der Leiter ruht, das konstante Stromelement wird bewegt. Schon aus der Natur des Weberschen Gesetzes, wo nur die relative Bewegung auftritt, ergiebt sich, daß dieser Fall in seinen mathematischen Formeln mit dem vorigen zusammenfallen muß, es also keiner besondern Ableitung bedarf.

3) Beide Leiter ruhen, in dem einen aber wird die Stromintensität geändert und dadurch im zweiten ein Strom induziert. Man hat da dieselben vier Unterscheidungen wieder zu treffen zwischen den positiven und negativen Elektrizitäten in den beiden Leiterelementen, nun aber bei der Bildung der vier verschiedenen $d^2 r_n/dt^2$ (n von 1 bis 4) zu beachten, daß die Geschwindigkeiten u variabel sind. Die Differenz der beiden auf die positive und negative Elektrizität in dem induzierten Element ds' wirkenden Kräfte liefert die elektromotorische Kraft. Diese ist in dem Zeitelement dt, wenn die Intensität des induzierenden Stromes i ist

$$= -\tfrac{1}{2}\frac{ds.ds'}{r} . a . \cos\vartheta . \cos\vartheta' . \frac{di}{dt},$$

oder wenn in der Zeit t die Intensität um i gewachsen ist

$$= -\frac{a}{2} . \frac{ds.ds'}{r} . i . \cos\vartheta . \cos\vartheta'.$$

Aus der Vergleichung der Induktionswirkungen eines bewegten Stromes auf einen ruhenden Leiter und eines geänderten Stromes bei ruhender Stromleitung auf denselben Leiter, ergiebt sich für geschlossene Ströme dasselbe allgemeine Resultat, wie es Neumann aus den Potentialdifferenzen abgeleitet hat, daß nämlich durch Entstehen oder Verschwinden eines Stromes in jenem Leiter derselbe Strom induziert werde, wie wenn dieser Strom fortdauernd bestanden hätte, aber der Leiter desselben entweder aus unendlich großer Entfernung in seine gegenwärtige Lage gebracht wäre, oder aus dieser in die un-

endliche Ferne fortgerückt wäre. Es lassen sich demgemäß sämtliche Wirkungen der Voltainduktion auf ein gemeinsames Gesetz zurückführen, aus welchem die speziellen Fälle durch entsprechende Substitutionen sich ergeben. Bezeichnen wie bisher ϑ den Winkel von ds mit r, ϑ' den von ds' mit r, ω den Winkel, welchen die durch ds und r gelegte Ebene mit der durch ds' und r gelegten macht, sei ferner v die Geschwindigkeit, mit welcher das Element ds' bewegt wird, und η der Winkel, den diese Bewegungsrichtung mit dem verlängerten r macht, endlich o der Winkel, den die Ebene von η mit der Ebene, welche ϑ enthält, macht, so ist die Summe der wirkenden Kräfte gleich der elektrodynamischen Kraft, ausgedrückt in der Formel

$$A = -\frac{ds\,.\,ds'}{r^2}\,.\,aeu\,.\,ae'u'\,.\,(\sin\vartheta\,.\,\sin\vartheta'\,.\cos\omega - \tfrac{1}{2}\cos\vartheta\,.\,\cos\vartheta')$$

und die in dem Element ds' wirkende elektromotorische Kraft gleich der Differenz der auf die + und — Elektrizität in ds' wirkenden Kräfte, dargestellt in der Formel

$$B' = -\frac{ds\,.\,ds'}{r^2}\,.\,a\,.\,e\,.\,u\,.\,a\,.\,e'\,.\,v\,(\sin\vartheta\,.\,\sin\eta\,.\,\cos o - \tfrac{1}{2}\cos\vartheta\,.\,\cos\eta)$$
$$- \tfrac{1}{2}\frac{ds ds'}{r}\,a^2\,.\,ee'\cos\vartheta\cdot\frac{du}{dt}\,.$$
$$= -\frac{ds\,.\,ds'}{r^2}\,.\,i\,(\sin\vartheta\,.\,\sin\eta\,.\,\cos o - \tfrac{1}{2}\cos\vartheta\,.\,\cos\eta)\,.\,a\,.\,e'\,.\,v$$
$$- \tfrac{1}{2}\frac{ds ds'}{r}\cdot ae'\cos\vartheta\cdot\frac{di}{dt}\,.$$

Will man die Komponente in der Richtung ds' haben, und versteht man, wie gewöhnlich, unter elektromotorischer Kraft die beschleunigende Kraft, welche die absolute Kraft auf die in der Längeneinheit des induzierten Leitungsdrahtes enthaltene elektrische Masse e' ausübt, so hat man mit $\cos\vartheta'$ zu multiplizieren und durch e' zu dividieren, und erhält dann die elektromotorische Kraft im gewöhnlichen Sinne

$$B = -\frac{ds\,.\,ds'}{r^2}\cdot i\,(\sin\vartheta\,.\,\sin\eta\,.\,\cos o - \tfrac{1}{2}\cos\vartheta\,.\,\cos\eta)\,.\,a\,.\,v\,.\cos\vartheta'$$
$$- \tfrac{1}{2}\frac{ds\,.\,ds'}{r}\cdot a\cos\vartheta\,.\,\cos\vartheta'\,\frac{di}{dt}\,.$$

336. Vergleicht man nun die Resultate des Weberschen Gesetzes mit dem von Neumann gegebenen Induktionsgesetz,

so tritt, wenn wir zunächst wieder Weber[1]) selbst folgen, ein Widerspruch zwischen beiden auf, sobald man als Inducenten einen ungeschlossenen Strom wirken läßt, während für geschlossene Ströme die beiden Gesetze identische Ausdrücke liefern. Nun ist aber das Neumannsche Gesetz basiert auf dem Lenzschen Erfahrungssatze, und dieser wiederum hat geschlossene Ströme zur Voraussetzung, woraus zu folgen scheint, daß das Neumannsche Gesetz eben die Anwendung auf ungeschlossene Ströme nicht verträgt.

Neumann[2]) selbst geht ebenfalls auf die Parallele zwischen seinem Gesetz und dem Weberschen ein, und zeigt durch umfassende detaillirte Rechnung, daß in der That für geschlossene Ströme in unveränderlichen Strombahnen seine Resultate sämtlich aus dem Weberschen Gesetz abgeleitet werden können. Anders stellt sich dass Verhältnis, wenn der induzierte Leiter ruht und die Induktion dadurch hervorgebracht wird, daß in dem geschlossenen, konstanten, induzierenden Strome einzelne Elemente verschoben werden. Dann ergiebt der von ihm aus dem Weberschen Gesetz abgeleitete Ausdruck einen Strom in entgegengesetztem Sinne, wie der nach seinem Gesetz erfolgende. Das Experiment zeigt aber, daß die Richtung des induzierten Stromes, die nach dem Neumannschen Gesetz gegebene ist. Daraus schließt Neumann nicht, daß das Webersche Gesetz falsch sein müsse, wohl aber, daß er bei der Ableitung des Ausdruckes etwas übersehen habe. Da die Unsymmetrie der beiden Gesetze bei dem Vorhandensein von Gleitstellen auftritt, muß der Fehler hier liegen. Es treten hier in die Strombahn neue Elemente ein oder aus, in welchen die Stromintensität sich innerhalb sehr kurzer Zeit von o bis i oder von i bis o ändert, die also dadurch eine kräftige Induktion hervorrufen. Beachtet man dann, daß die Geschwindigkeit der Elektrizität in diesen Leiterelementen zu Anfang o, am Ende v ist, resp. umgekehrt, und nimmt an, daß diese Geschwindigkeit succesive erlangt wird, so ist der von der Elektrizität in dem Zeitelement dt zurückgelegte Weg $= \frac{1}{2} v\, dt$

1) Weber l. c. pag. 349.

2) Abhandlungen der königl. Akademie zu Berlin. 1847. pag. 48.

und es ergiebt sich also $i = \frac{1}{2} e . v$. oder $e . dv/dt = di/dt$; setzt man diesen Wert für die neu ein- oder ausgeschalteten Elemente ein, so ergiebt das Webersche Gesetz völlige Übereinstimmung mit den Neumannschen Induktionstheorem. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß die eben ausgeführte Betrachtung nicht ohne weiteres klar ist.

In der That begnügt sich Weber[1]) selbst mit dieser gezwungenen Übereinstimmung nicht, da ja, selbst wenn die Betrachtung richtig wäre, schließlich doch einmal die Intensität auch in diesem neu eingeschalteten Teilen i wird und daher der Gesamteffekt immer nur den Wert di/dt nicht 2 di/dt liefern würde. Die Ursache der Nichtübereinstimmung liegt vielmehr darin, daß Neumann nicht berücksichtigt hat, daß erstens wohl die Stromstärke von o bis i gesteigert werde, daß aber zweitens neue Elemente mit dieser Stromstärke i in den Leiterkreis eintreten, es sind also die Wirkungen der Geschwindigkeitsänderung der Elektrizität und der Einschaltung neuer Elemente zu addieren und daraus erklärt sich die Verdoppelung. Man kann voraussetzen, daß die übereinander fortgleitenden Stromelemente parallel sind, bezeichnet dann v die Geschwindigkeit des beweglichen Stromstückes, und haben die übrigen Buchstaben die mehrfach erwähnten Bedeutungen, so ergiebt sich durch Anwendung des Weberschen Gesetzes die elektromotorische Kraft, welche ausgeübt wird auf das ruhende Leiterelement, dadurch, daß in dem induzierenden Strome ein Element über ein anderes hingeführt wird, also in der Zeit dt durch die Gleitstelle die Elektrizität e gegangen ist mit der Geschwindigkeit a, in der Formel

$$A = -\tfrac{1}{2} \frac{ds' v . dt}{r} . a . i . \cos\vartheta . \cos\vartheta'.$$

Aber bei dem Wachstum der Stromintensität (di/dt) in dem Leiterelement ds ist die von diesem auf ds' ausgeübte elektromotorische Kraft nach dem Weberschen Gesetz ausgedrückt durch:

$$B = -\tfrac{1}{2} \frac{as . ds'}{r} . a . \cos\vartheta . \cos\vartheta' . \frac{di}{dt},$$

1) Abhandlungen den königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften I. 1852. pag. 310.

oder für das Wachsen um i in der Zeit t:

$$B = -\frac{1}{2}\frac{ds \,.\, ds'}{r} \,.\, a\,i \,.\, \cos\vartheta \,.\, \cos\vartheta'.$$

Beachtet man nun, daß $v\,dt$ in dem Ausdrucke A gleich ds ist, so läßt sich A auch schreiben

$$= -\frac{1}{2}\frac{ds \,.\, ds'}{r} \,.\, a \,.\, i \,.\, \cos\vartheta \,.\, \cos\vartheta',$$

d. h. diese beiden elektromotorischen Kräfte sind einander gleich, ihre Summe kann man also schreiben $= 2 \,.\, B$, das ist es aber, was Neumann erreichen wollte, dann ist die Übereinstimmung mit dem Weberschen Gesetz nachgewiesen. Man hat also in solchen Fällen zu unterscheiden 1) die Summe der elektromotorischen Kräfte durch das bewegliche Stromstück; 2) die Summe der elektromotorischen Kräfte durch die an der Gleitstelle neu eintretenden Stromelemente; 3) die Summe der elektromotorischen Kräfte durch die durch die Gleitstelle gehende Elektrizität wegen der dort plötzlich eintretenden Geschwindigkeitsänderung hervorgerufen.

Durch diese Zerlegung ist es denn nun in der That möglich, sämtliche Induktionserscheinungen und nicht nur die für unveränderliche Leiterkreise den Experimenten konform darzustellen.

Eine höchst interessante und verdienstliche Arbeit ist die spätere Abhandlung von E. Schering[1]), worin er die vollständige Identität zwischen Webers Formeln und denen Neumanns dadurch beweist, daß er Neumanns Gesetz aus dem allgemeinen Weberschen ableitet. Es läßt sich nämlich, wenn man die Geschwindigkeiten der Stromelemente mit berücksichtigt, durch geeignete Transformation die elektromotorische Kraft darstellen als das vollständige Differential eines Ausdruckes nach der Zeit, also

$$A = a\frac{dV}{dt}\,;\ \text{wo}\ \ V = \int\frac{d(r\,dr)}{ds \,.\, ds'} \cdot \frac{i \,.\, ds \,.\, ds'}{r}$$

und die drei Kraftkomponenten der elektrodynamischen Kraft ergeben sich ebenfalls als Differentiale

1) Pogg. Annal. Bd. 104. 1858. pag. 266.

$$X = \frac{dV}{dx}; \quad Y = \frac{dV}{dy}; \quad Z = \frac{dV}{dz},$$

d. h. V ist das Potential des Stromes s auf den Strom s', und die in der Zeit von $t = o$ bis $t = t$ induzierte gesamte elektromotorische Kraft ist $= a\ (V_t - V_o)$, das ist aber Neumanns Ausdruck.

337. Ehe ich auf den weiteren Inhalt der Weberschen Arbeit vom Jahre 1852 eingehe, sei es gestattet, einige Worte zweien späteren Induktionsgesetzen zu widmen. Im Jahre 1855 glaubte Felici[1]), nachdem er eine andere Ableitung des Induktionsgesetzes gegeben hat, die aber in den Resultaten für geschlossene Ströme mit dem Neumannschen übereinkommt, bisher nicht erklärbare Induktionserscheinungen gefunden zu haben, wenn nämlich ein Teil des induzierten Drahtes gegen den übrigen Leiter verschiebbar ist, also z. B. auf einer leitenden Fläche gleitet, da soll an der Stelle des Gleitens eine elektromotorische Kraft auf den induzierten Draht selbst ausgeübt werden, allein seine Experimente sind auch durch das Neumannsche Gesetz erklärbar, und beweisen so nichts gegen die Gültigkeit desselben.

Einen ganz eigenartigen Weg endlich schlägt Faraday[2]) ein. Nach ihm ist die in einem bewegten Draht durch einen Magneten induzierte elektromotorische Kraft proportional der Zahl, der bei der Bewegung des Drahtes geschnittenen Magnetkraftlinien, dabei ist der Winkel, unter welchem geschnitten wird, sowie die Konvergenz oder Divergenz der Kraftlinien für die Größe der elektromotorischen Kraft gleichgültig. Unter Kraftlinien versteht er die Linien gleicher Intensität. Die Erfolge dieser Theorie sind keine andern als die von Neumann und Weber, sie erklärt aber gar nichts; denn ein logischer Grund für dieselbe ist gar nicht aufzufinden und sie würde wahrscheinlich, wenn man die Rechnung mit Potentialen ausführte, auch direkt die Neumannsche Theorie geben.

---

1) Annal. de Chim. et de Phys. Ser. III. Bde. 40. 51. 56. 1854 bis 1859.

2) Exp. research. Ser. 29 u. 30; vergl. Pogg. Annal. Ergänz.-Bd. 3. pag. 542, und Bd. 100, pag. 111 u. 439. 1852 bis 1855.

Eine Erklärung des ganzen Vorganges der Induktion liefert lediglich die Webersche Theorie, die vom allgemeinen elektrischen Kraftgesetze ausgehend die Erscheinungen erklärt und daher einen Einblick in die Entstehung der Induktion liefert, während man auch in der Neumannschen Regel nur eine Zusammenfassung der experimentellen Thatsachen in einen mathematischen Ausdruck erblicken kann, woraus sich dann alle Erscheinungen berechnen und vorhersagen lassen.

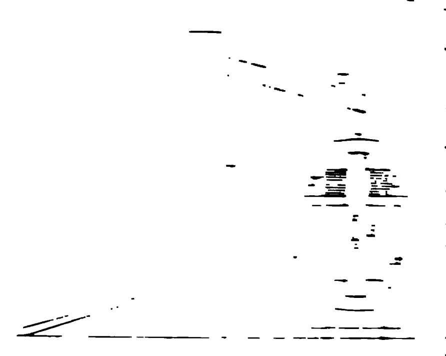
338. Nachdem Weber[1]) so die Gesetze der Induktion gefunden hatte, benutzte er dies sein Resultat, um sich einem andern, damals noch wunden Punkt in der Kenntnis des Galvanismus zuzuwenden, den Messungen von elektromotorischer Kraft, Stromstärke und Widerstand. Ich habe die verschiedenen vorherigen Methoden besprochen, welche besonders zum Zweck hatten, Widerstände zu bestimmen und das Ohmsche Gesetz zu bestätigen. Wenn letzteres nun auch vorzüglich gelungen war, so gilt nicht dasselbe von ersterem, denn man hatte wohl Widerstände unter sich vergleichen können, hatte aber kein allgemeines Maß des Widerstandes an sich, keine Einheit. Diesem Übelstande abzuhelfen, hatte Jacobi in Petersburg am 30. August 1846 an Poggendorff einen Etalon, die „Jacobische Einheit", gesandt, in Gestalt eines Kupferdrahtes von 7,61975 ^{m} Länge und 0,000667 ^{m} Durchmesser, damit jener seinen sonst gebrauchten Widerstand damit vergleiche, respektive sich eine Kopie davon verschaffe und dann diesen Etalon an Weber sende und andere Elektriker. Es war das wohl ein Auskunfsmittel, allein, wie sich später herausstellte, kein gutes, da der Widerstand ein und desselben Kupferdrahtes mit der Zeit sehr variabel ist, besonders auch durch häufigen Gebrauch seinen spezifischen Widerstand selbst erheblich ändert.

Weber kam auf einem andern Wege sicherer zum Ziele. Ich habe schon erwähnt, wie es ihm gelungen war, das Maß der Stromstärke absolut anzugeben, d. h. dadurch, daß es in magnetischen Einheiten ausgedrückt war, es selbst auf die Einheiten dieses Gaußischen Maßes zu reduzieren. Nach dem Ohmschen Ge-

1) Abhandl. d. königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. I. 1852. pag. 199.

[illegible] Theorie [illegible] man die Größe der von [illegible] elektromotorischen Kraft auf einen [illegible]

Bei der [illegible] dieser Beobachtungen verwendet [illegible] Erdmagnetismus, sondern genommen einen Induktor ähnlich dem bei den [illegible]ischen Versuchen gebrauchten. In einer hölzernen Röhre B waren zwei Magneten a und a' befestigt, so daß die beiden Nordpole zur Mitte der Röhre zeigten und [illegible] etwa in einer Distanz [illegible] einander gegenüberstanden. Die Südpole ragten an beiden Seiten bis ans Ende der Holzröhre und diese selbst war in zwei [illegible] C und C' [illegible] die südmagnetischen Hälften der Magnete innerhalb dieser Fassungen lagen. Das obere Ende von C war [illegible] dem einen Arm eines auf einem festen [illegible] F ruhenden zweiarmigen Hebels E verbunden, dessen anderer Arm [illegible] Kette mit dem in die Höhe stehenden [illegible] Trittbrettes G verbunden war. die Holzröhre B stach [illegible] einer auf dem Deckel eines Holzkastens A ruhenden Induktionsspirale D. so daß, wenn auf der oberen Fläche von D die Fassung C ruhte, die Induktionsspirale gerade die Mitte des Magneten a umschloß, während, wenn durch Niedertreten des Trittbrettes G die Holzröhre B soweit gehoben wurde, daß C' an den unteren Deckelrand anschlug, die Induktionsspirale gerade über der Mitte von a' steckte. Während einer solchen Bewegung wurden also beide Nordmagnetpole in demselben



Sinne durch die Spirale gezogen, es erfolgte also ein Induktionsstoß durch eine solche Bewegung, ließ man die Holzröhre mit dem Magneten herunterfallen, so erfolgte ein zweiter Induktionsstoß in entgegengesetztem Sinne von gleicher Stärke. Dieser Induktor lieferte die elektromotorische Kraft.

339. Um ferner die Intensität gut messen zu können, konstruierte Weber ein neues, von dem 1846 gebrauchten verschiedenes Galvanometer mit Spiegelablesung, das gewöhnlich als das erste seiner Art angesehen wird. Innerhalb eines kupfernen Dämpfers, dessen Querschnitt eine Ellipse ist, schwingt mittels einer geeigneten Aufhängungsvorrichtung ein Magnetstab an einem Kokonfaden, dessen oberes Ende an dem Deckel einer entsprechend langen Messingröhre befestigt ist, die vertikal über dem Mittelpunkt des Apparates steht. Die Aufhängungsvorrichtung trägt einen Spiegel, sodaß mit Fernrohrablesung beobachtet werden kann. Auf den kupfernen Dämpfer läßt sich eine Messinghülse schieben, welche Drahtwickelungen trägt, die so eingerichtet sind, daß verschiedene Längen eingeschaltet werden können.

Um hier gleich die später konstruierten Galvanometer mit zu erledigen, will ich des von Wiedemann 1853 konstruierten gedenken. Es hat ihm offenbar dabei das erste Webersche Spiegelgalvanometer von 1846 vorgeschwebt. Wiedemann[1]) behält für den Magneten die kreisrunde Scheibenform bei und läßt einen solchen runden mit einer spiegelnden Fläche versehenen Magneten in einem dicken Kupferring schwingen. Diesen Kupferring stellt Wiedemann in die Mitte eines horizontal einstellbaren Schlittens, auf diesem sind konaxial mit dem Kupferringe rechts und links von ihm zwei Spiralen verschiebbar. Der ganze Apparat wird so aufgestellt, daß die Achsen der Spiralen und des Kupferringes senkrecht zum magnetischen Meridian liegen, durch Verschieben der Spiralen auf dem Schlitten kann man dann einen durch eine von ihnen gehenden Strom aus verschiedenen Entfernungen ablenkend wirken lassen, oder auch die Intensitäten zweier Ströme, welche durch je eine der Rollen gehen, durch Messen der Distanz vom Magneten, wenn die

1) Pogg. Annal. Bd. 89. 1853. pag. 504.

Wirkungen der Ströme auf diesen sich gerade aufheben, vergleichen. Später hat Wiedemann dann den Apparat noch mit einem oder auch zweien festen Magneten versehen, um die Magnetscheibe astatisch zu machen, auch den Magneten nicht selbst als Spiegel benutzt, was wegen der verschiebbaren Drahtrollen nicht immer möglich ist, sondern seinen Apparat nach Art des Weberschen Galvanometers mit einem besonderen Spiegel versehen.

Die seitliche Verschiebbarkeit der Spiralen ist gleichzeitig auch von Lamont[1]) angewendet und hat in der That oft viel für sich, da dann auch stärkere Ströme mit dem Galvanometer gemessen werden können und ebenfalls der Nutzen der seitlichen Stellung der Helmholtzschen Tangentenbussole damit verbunden sein kann.

Die Dämpfung bei dem Wiedemannschen Galvanometer ist so stark, daß bei schwachen Strömen gar keine Schwingungen eintreten, sondern die definitive Ablenkung sofort erfolgt.

Nach Art des Weberschen Galvanometers ist auch das viel verbreitete Meyersteinsche[2]) konstruiert, wo als Magnet ein elliptischer Stahlring angewendet wird, die Astasie ist an diesem ebenfalls durch zwei feste Magnete hergestellt.

Die stärkste Dämpfung hat das Siemenssche Galvanometer, welches in neuester Zeit viel eingeführt wird. Der Magnet besteht hier aus einem hohlen, oben geschlossenen Stahlcylinder, der in seiner Längsrichtung ziemlich tief an zwei diametralen Stellen aufgeschnitten ist, sodaß er das Aussehen einer Stimmgabel hat, die mit den Zinken nach unten sieht. In dieser Lage wird er auch aufgehängt und schwingt in einer massiven Kupferkugel, in welche ein für ihn passendes Loch gebohrt ist. Die Magnetpole befinden sich hier an den beiden unteren Zinkenenden des Magnets, deswegen ist bei ihrer unmittelbaren Nähe eine Astasierung nicht möglich durch einen Magnetstab, wohl aber durch Vereinigung zweier solcher „Glockenmagnete“, wo dann auf jeden besonders Multiplikatorwindungen wirken.

Die Versuche, die Dämpfung durch Flügel, welche den

1) Pogg. Annal. Bd. 88. 1853. pag. 230.
2) Meißner u. Meyerstein in Pogg. Ann. Bd. 114. 1861. pag. 132.

Widerstand der Luft zu überwinden haben, herzustellen, sind wenig erfolgreich gewesen und stehen in keinem Verhältnis zu der sicheren Dämpfung durch die Induktion.

340. Hat man nun mit einem solchen Apparate nicht konstante Ströme zu messen, sondern solche von momentaner Dauer, wie sie der Induktionsapparat bietet, so gebraucht Weber dafür zwei neue Meßmethoden. 1) Die Multiplikationsmethode:[1]) Zu Anfang der Beobachtung ist die Nadel in Ruhe, jetzt wird ein Induktionsstrom erzeugt, dadurch erhält die Nadel einen Stoß und wird nach irgend einer Seite abgelenkt, sie schwingt aus, kehrt zurück und wird nun nach entgegengesetzter Seite ausschwingen, um nach mehreren Pendelschwingungen in der früheren Ruhelage zur Ruhe zu kommen, wenn keine neue Kraft einwirkt. Nun aber wird in dem Augenblick, wo die Nadel zum erstenmale die Ruhelage passiert, ein Induktionsstoß in entgegengesetzter Richtung ausgeübt, dadurch wird der Ausschlag der Nadel nach dieser Seite hin vergrößert. Kehrt die Nadel nun wieder zurück, so wird in dem Augenblick, wo sie die Ruhelage zum zweiten Male passiert, ein Induktionsstoß in demselben Sinne wie zu Anfang gegeben, es tritt wieder Verstärkung ein; das setzt man solange fort, bis keine Vergrößerung des Ausschlages mehr erfolgt, dann mißt man die Elongation, diese sei x, dann ist die dem Gleichgewicht der Nadel entsprechende Ablenkung gegeben durch $E = \frac{x}{2} \cdot \frac{1 - e^{-\lambda}}{1 + e^{-\lambda}}$, wo λ das logarithmische Dekrement, e die Basis des natürlichen Logarithmensystemes ist, und die Geschwindigkeit, welche der zu messende momentane Strom der Nadel bei jedem Stoß erteilt, ist gegeben durch

$$C = \frac{x}{2} \cdot \frac{\pi}{T} \cdot (1 - e^{-\lambda}) e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc\,tang} \frac{\pi}{\lambda}};$$

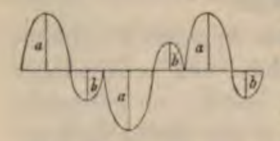
wo T die Schwingungsdauer ist.

Eine zweite Methode ist die der Zurückwerfung, welche noch von Gauß herrührt.[2]) Sie ist da am Platze, wo die vorige wegen zu großer Stärke der Ströme nicht gebraucht werden kann. Sie ist kurz folgende: Man wartet nach dem ersten In-

1) l. c. pag. 346.

2) Resultate aus den Beobachtungen d. mag. Vereins. 1838. pag. 98.

duktionsstoß mit der Erteilung des zweiten Induktionsstoßes bis zu dem Augenblick, wo die Nadel die Ruhelage zum zweiten Male passieren will, dann erfolgt der Induktionsstoß entgegengesetzt dem ersten, die Nadel wird also nach derselben Seite, woher sie eben kam, zurückgeworfen, sie schwingt also in der durch nebenstehendes Schema gegebenen Weise. Bezeichnet a die Länge der großen Elongationen nach dem Induktionsstoße, b die der daraufolgenden nach entgegengesetzter Seite, so hat man zunächst $\lambda = \log \operatorname{nat} \frac{a}{b}$ und die Geschwindigkeit



$$C = \frac{\pi}{2T} \frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} \cdot e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arc tang} \frac{\lambda}{\pi}}.$$

Die Kenntnis der Geschwindigkeit ist aber von Wichtigkeit, da sie proportional ist dem Integralwerte des Stromes.

341. Mit Hülfe der Multiplikationsmethode giebt Weber nun zunächst ein Beispiel der Widerstandsvergleichung, indem er seine Kopie vergleicht mit dem Jacobischen Etalon, dann aber wendet er sich der wichtigeren Aufgabe zu, den Widerstand absolut zu bestimmen. Als absolute Maße hat Gauß zu Grunde gelegt das Millimeter, Milligramm und die Sekunde, hierdurch muß also auch in der Elektrodynamik alles ausgedrückt werden. Demnach würde z. B. das Maß für den Erdmagnetismus sein an irgend einem Orte der Erde gleich dem nach jenen absoluten Maßen gemessenen Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus an dem Orte ausübt auf einen Magnetstab vom Magnetismus 1, dessen Achse mit der Richtung des Erdmagnetismus einen rechten Winkel bildet. Die absoluten Maße der Elektrodynamik sprechen sich daher bei Weber so aus:[1])

1) Die Intensität 1 hat der Strom, welcher die Ebene 1 umfließend dieselbe Wirkung ausübt, wie der Stabmagnetismus 1.

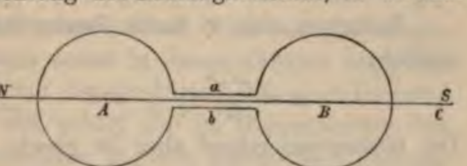
2) Die elektromotorische Kraft 1 ist die vom Erdmagnetismus, nach obigem Maße gemessen, auf eine geschlossene Kette ausgeübte elektromotorische Kraft, wenn die Kette so gedreht wird, daß die von ihrer Projektion auf eine gegen

1) l. c. pag. 219.

die Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begrenzte Fläche in der Zeit 1 um die Fläche 1 zu- oder abnimmt.

3) Der **Widerstand 1** ist der Widerstand einer solchen Kette, in welcher die oben angegebene Einheit der elektromotorischen Kraft einen Strom von der absoluten Intensität 1 hervorruft.

342. Das Schema zur Ausführung dieser Messung ist folgendes. Sei NS die Richtung des Erdmagnetismus, in welcher A und B, die Mittelpunkte zweier gleichgroßer, in der Meridianebene befindlicher Kreise von dem Radius r liegen, die in sich nicht völlig geschlossen sind, sondern miteinander erst durch die beiden parallelen Drähte a und b zu einem geschlossenen Leiterkreise verbunden sind. Diese Drähte seien biegsam und sollen eine Drehung von A gestatten, wird nun der Kreis A aus der im Meridian liegenden Ebene so gedreht in der Zeit τ, daß er senkrecht gegen NS steht, so ist, wenn T die absolut gemessene Horizontalintensität des Erdmagnetismus ist, während dieser Zeit τ eine nach der eben definierten Einheit gemessene elektromotorische Kraft ausgeübt, welche dargestellt ist durch die Formel $e = \frac{r^2 \pi}{\tau} . T$.



Durch diese elektromotorische Kraft entsteht ein durch die ganze Kette gehender Strom von der Intensität i, welche ebenfalls absolut gemessen werde. Es übt der Kreis B also auf eine in C befindliche Magnetnadel mit dem absolut gemessenen Magnetismus m, ein Drehungsmoment aus, und zwar er allein, wenn wir voraussetzen, daß A zu weit entfernt ist, um noch wirken zu können. Bezeichnet R den Abstand der Nadel von B, so ist das ausgeübte Drehungsmoment gleich

$$\frac{r^2 \pi}{R^3} . i . m . \cos \varphi ,$$

und wenn K das Trägheitsmoment der Nadel bezeichnet, so ist die Beschleunigung, welche die Nadel erfährt, gleich

$$\frac{r^2 \pi}{R^3} \cdot \frac{i m}{K} \cdot \cos \varphi .$$

War nun die Nadel in Ruhe, also $\varphi = 0$, so ist die Drehungsgeschwindigkeit $\frac{d\varphi}{dt}$ am Ende der kurzen Zeit τ

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{r^2\pi}{R^3} \cdot \frac{im}{K} \cdot \tau$$

und die größte Elongation für die Schwingungsdauer t, bezeichnet mit α,

$$\alpha = \frac{r^2}{R^3} \cdot \frac{im}{K} \cdot \tau \cdot t.$$

Bestimmt man t durch Beobachtung $= \pi \sqrt{\frac{K}{mT}}$, so ist endlich:

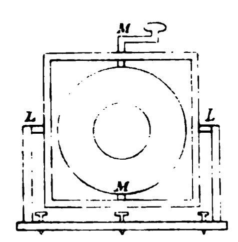
$$\alpha = \frac{r^2\pi^2}{R^3} \cdot \frac{i\tau}{t \cdot T} \text{ und } i = \frac{\alpha R^3}{r^2\pi^2} \cdot \frac{t}{\tau} \cdot T.$$

Der Gesamtwiderstand aber ist gleich

$$w = \frac{e}{i} = \frac{\pi^3 \cdot r^4}{\alpha R^3 t}.$$

Es bedarf also nur einer Messung von r, R, α, t, und der Widerstand ist auf die Einheiten der absoluten Maße zurückgeführt.

343. Um diese Beobachtung nun auszuführen, konstruiert Weber den „Erdinduktor“. Ein hölzerner Rahmen war mit einer bekannten Länge Kupferdraht umwunden, um eine vertikale Achse drehbar und mit einer Vorrichtung versehen, daß man ihn genau um 180° drehen konnte. Er wurde so aufgestellt, daß die vertikale Ringebene zu Anfang und zum Schluß jedesmal senkrecht stand zum magnetischen Meridian. Der Querschnitt des Holzrahmens war ein reguläres Sechseck, sodaß man die Fläche leicht berechnen konnte.



In demselben Jahre führte diese Untersuchung Weber zu der Erfindung einer Methode, mittels Induktion durch den Erdmagnetismus die Inklination zu bestimmen. Weber[1]) machte zu dem Zweck diesen Erdinduktor um noch eine zweite Achse drehbar. Zunächst um eine vertikale M, dann um eine horizontale L, stand also die Drahtrolle so wie in der nebenstehenden Figur, und klemmte man die Achse L fest, so konnte bei

1) Abhandlungen der königl. Gesellsch. d. Wissensch. z. Göttingen. Bd. 5. 1853. pag. 53 und Pogg. Annal. Bd. 90. 1853. pag. 209.

Drehung der Rolle um die Achse M allein die horizontale Komponente induzierend wirken.

Giebt man nun die Induktionsstöße so, daß in dem entfernt aufgestellten Galvanometer B (cf. oben) nach der Multiplikationsmethode gemessen wird, und ist der schließlich erhaltene Schwingungsbogen A; legt man dann den Rahmen, der den Drahtring mit der Achse M trägt, durch Drehung um die Achse L horizontal und hat man den Apparat von vornherein so gestellt, daß die Achse M im magnetischen Meridian, L dagegen immer senkrecht dazu liegt, sodaß in dieser zweiten Lage nur die vertikale Komponente auf den Drahtring bei einer Drehung um die Achse M wirkt, und erhält nun im Galvanometer den Bogen B, so ist die Inklination gegeben durch die Gleichung

$$\operatorname{tang} J = B / A.$$

Weber dreht hierbei immer genau um 180° einmal von rechts nach links, dann von links nach rechts; während jeder einzelnen Drehung ist die Richtung des induzierten Stromes konstant, für die beiden Drehungen ist sie selbstredend entgegengesetzt. Ein Abänderung dieses Verfahrens hat in jüngster Zeit K. Schering gegeben mit gutem Erfolg. Da diese Methode die zuverlässigste ist um die Inklination zu bestimmen, wird sie überall mit Nutzen angewendet. Bei dieser Vorrichtung hat Weber die sechseckige Form des Querschnitts wieder aufgegeben und kehrt zur Kreisform für den Induktor zurück. In Bezug auf die Einzelnheiten der Beobachtung verweise ich auf die Originalabhandlung, die Elongationen kann man sich leicht ableiten aus der oben angegebenen Gleichung für die Geschwindigkeit der Nadel im Galvanometer bei der Multiplikationsmethode. Selbstverständlich läßt sich dieselbe Sache auch für die Zurückwerfungsmethode machen.

Mit Hilfe dieses Erdinduktors bestimmte nun Weber[1]) zunächst den Widerstand seiner Drahtleitung allein, und verglich damit dann den Widerstandsetalon von Jacobi. Bei dieser Vergleichung ergab sich: Jacobis Etalon war $= 598.10^7 \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ $= 807 \frac{\text{Meilen}}{\text{Sekunde}}$.

1) Abhandlungen der königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 1. 1852. pag. 252.

344. In diesen Messungen ist die Intensität durch Reduktion auf das absolute magnetische Maß erhalten. Man kann die absolute Messung aber auch unabhängig von jeder magnetischen Messung rein elektrodynamisch begründen, mit Hilfe des elektrodynamischen Grundgesetzes und des Gesetzes der Volta-Induktion.[1]) Dann ist die Einheit der Stromintensität die Intensität des Stromes, welcher, indem er die Fläche 1 umläuft und auf einen gleichen Strom, der eine ebenso große Fläche umläuft, aus einer großen Entfernung R wirkt, wenn die Fläche des zweiten Stromes senkrecht zu der des ersten steht und sie halbiert, auf den letzteren Strom ein Drehungsmoment ausübt, welches sich zur Einheit des Drehungsmomentes wie $1:2R^3$ verhält.

Dies zweite absolute Maß der Stromintensität verhält sich also zum ersten wie $1:\sqrt{2}$. Analog läßt sich die elektromotorische Kraft definieren, die sich dann zu der vorhin bestimmten verhält wie $\sqrt{2}:1$, und endlich wenn ebenso der Widerstand definiert werden soll, wird es eine absolute Einheit geben, die doppelt so groß ist als die durch die Magnetinduktion gefundene.

345. Neben diesen elektromagnetischen und elektrodynamischen Einheiten läßt sich nun drittens eine Messung nach rein mechanischen Maßen durchführen, wie es in der Elektrostatik geschieht nach dem Coulombschen Prinzip; danach ist die auf ein elektrisches Teilchen ausgeübte elektrische Kraft = 1, wenn sie der ponderabeln Masseneinheit, an welcher das elektrische Teilchen haftet, die Einheit der Beschleunigung erteilt. Die Einheit der Stromstärke wäre dann die Intensität des Stromes, bei welchem in der Zeit 1 die Elektrizitätsmenge 1 fließt, und die mechanische Einheit des Widerstandes würde demnach sein der Widerstand des geschlossenen Leiters, in welchem die eben definierte elektromotorische Kraft 1 die mechanische Intensität 1 erzeugt.

Um die früheren Beobachtungen auch auf diese mechanischen Einheiten zu reduzieren, muß man von dem elektrischen Grundgesetz ausgehen, welches man auch so schreiben kann:

1) l. c. pag. 261.

die elektrische Masse e übt auf e' in der Entfernung r eine Kraft aus

$$= \frac{e \cdot e'}{r^2}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{2r}{c^2}\frac{d^2r}{dt^2}\right)$$

wo also an die Stelle des früheren $a^2 / 16$ getreten ist $1 / c^2$. Ist nun die relative Geschwindigkeit konstant, d. h. $d^2 r / d t^2 = 0$, so ist die Kraft

$$= \frac{e \cdot e'}{r^2}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right),$$

d. h. c ist die konstante relative Geschwindigkeit, bei welcher zwei elektrische Teilchen gar keine Wirkung auf einander ausüben. Nun hatte a in der ursprünglichen Form des Gesetzes die Bedeutung, daß $i = a \cdot e \cdot u$, wo $e \cdot u$ die in der Zeit 1 durch den Querschnitt des Leiters gehende Elektrizitätsmenge war, also ist die mechanische Stomintensität $k = \frac{c}{4} \cdot i$, wenn i die elektrodynamische Stromintensität ist. Dagegen ist die mechanische elektromotorische Kraft $f = \frac{4}{c} \cdot e$, wenn e die elektrodynamische Kraft ist. Endlich ist das mechanische Maß des Widerstandes $v = \frac{16}{c^2} \cdot w$, wenn w der elektrodynamisch gemessene Widerstand ist.

346. Es blieb nun als nächste Aufgabe übrig diese wichtige Konstante c zu bestimmen; daß sie bestimmbar war, zeigte Weber noch in derselben Abhandlung.[1]) Dazu war es aber nötig Elektrizitätsmengen genau zu messen, also Messungen an Elektrometern vorzunehmen, wozu die bis dahin bekannten nicht auszureichen schienen, oder mit anderen Worten, es war zu dem Zweck nötig folgende Aufgabe zu lösen[2]): „Es sei ein konstanter Strom gegeben, durch welchen eine Tangentenbussole mit einfachem Multiplikatorkreise vom Halbmesser R bei einer Ablenkung

$$\varphi = \text{arc. tang.} \frac{2\pi}{RT}$$

im Gleichgewicht erhalten wird, wenn T die horizontale Komponente des Erdmagnetismus ist; es soll bestimmt werden, wie

1) l. c. pag. 295.

2) Abhandlungen der k. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 5. 1857. pag. 228.

die Elektrizitätsmenge, welche bei einem solchen Strome in einer Sekunde durch den Querschnitt des Leiters fließt, sich zu der Elektrizitätsmenge auf jeder von zwei kleinen geladenen Kugeln verhält, welche einander aus der Einheit der Entfernung mit der Einheit der Kraft abstoßen. Es soll dabei zur Einheit der Kraft diejenige Kraft genommen werden, welche der Masse eines Milligramms in einer Sekunde die Einheit der Geschwindigkeit erteilt."

Diese Aufgabe löste Weber in Gemeinschaft mit Kohlrausch durch Messung der Elektrizitätsmenge an einer besonders hierzu konstruierten Torsionswage und dem Poggendorffschen Sinuselektrometer, sowie durch gleichzeitige Beobachtung der Ablenkung an einer Tangentenbussole bei Entladung einer Leydener Batterie. Es wurde das Verhältnis der Elektrizitätsmengen bestimmt und daraus ergab sich endlich die gesuchte Konstante

$c = 439\,450 \,.\, 10^{6\,\mathrm{mm}} = 439$ Millionen Meter $= 59\,320$ Meilen in der Sekunde.[1])

Mit einer solchen Geschwindigkeit müßten also zwei Elektrizitätsteilchen gegeneinander bewegt werden, damit die elektrodynamische Kraft die elektrostatische aufheben soll. Daraus erklärt es sich nun, daß, sobald wir es mit einem Körper mit elekrostatischer Ladung zu thun haben, nur die elektrostatische Kraft wirksam ist, nicht aber die elektrodynamische. Endlich sieht man, daß man bei diesem Werte von c auch dem Newtonschen Gravitationsgesetz, ohne an den beobachteten Erscheinungen irgend etwas zu ändern, eine analoge Form geben kann, wie sie das elektrische Grundgesetz hat, denn die durch die hinzuzufügenden Glieder eintretenden Änderungen des Newtonschen Gravitationsgesetzes $m.m'/r^2$ sind so gering, daß die Beobachtungen gerade so gut dies erweiterte Gesetz erfüllen, wie das gewöhnliche Attraktionsgesetz.

Mit Hilfe dieser so bestimmten Konstanten c ist es nun möglich, alle früheren Gesetze mit numerischen Angaben anzuwenden, so wendet Weber das Gesetz an auf die Elektrolyse und zwar die Wasserzersetzung und berechnet die von der Elektrizität repräsentirte Kraft, welche 1 ^{mgr} Wasser in einer Sekunde

1) l. c. pag. 264.

zerlegen kann. Einen Schluß auf die Größe der chemischen Affinitätskräfte wagt Weber aus dieser Beobachtung nicht abzuleiten, aber durch Anwendung auf verschiedene Elektrolyten wäre vielleicht zu einem Resultat zu kommen. Zur Ausscheidung von 1 ^{mgr} Wasserstoff aus 9 ^{mgr} Wasser sind erforderlich $149157 \,.\, 10 \,.\, ^{9}$ Einheiten Elektrizität, wenn man als Einheit der Elektrizitätsmenge diejenige nimmt, welche in einen Punkt konzentriert auf eine gleiche Menge in der Entfernung 1 ^{mm} eine Kraft ausübt, die der Masse eines Milligramms in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 1 ^{mm} in der Sekunde erteilt.

347. Noch einmal wandte sich Weber[1]) der absoluten Widerstandsmessung zu, im Jahre 1861, als man von Seiten der Roy. Soc. in London eine Kommission niedergesetzt hatte zur Bestimmung eines allgemeinen Etalons nach dem Prinzip der absoluten Widerstandsbestimmung. Da der Jacobische Etalon eine ganz willkürliche Einheit war, mußte der Wunsch eine absolute Widerstandseinheit zu haben selbstverständlich immer rege bleiben. An der Spitze dieser Kommission stand Thomson. Die Kommission legte die Webersche Definition der absoluten elektromagnetischen Widerstandseinheit zu Grunde, und fertigte dementsprechende Normaletalons an, da jedoch die Einheit Webers in Millimeter und Sekunde gemessen, zu klein wäre um danach einen Etalon einzurichten, so wählte man $10^{10} \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ als Einheit. Weber ließ sich nun von Thomson zwei Etalons schicken, welche diese Einheit repräsentieren sollten und prüfte diese Etalons nochmals, wobei sich fand, daß sie nicht genau waren. Ehe diese Webersche Einheit des Widerstandsmaßes so durch die Bemühungen der British Association und der Roy. Soc. in die Praxis eingeführt wurde, hatte ein Deutscher ein anderes Widerstandsmaß vorgeschlagen, welches ich, da es mit diesen Bemühungen vollständig zusammenhängt, doch nicht übergehen darf. Im Jahre 1860 hatte Werner Siemens[2]), dessen Namen wir im Kapitel der elektrischen Maschinen an hervorragender Stelle wiederfinden, ein neues Widerstandsmaß vorgeschlagen.

1) Abhandlungen d. Götting. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 10. 1862. Math. Klasse. pag. 1.

2) Pogg. Annal. Bd. 110. 1860. pag. 1.

Er sagt, es sei seine Absicht gewesen, zunächst dem Jacobischen Elaton die weiteste Verbreitung zu verschaffen, indem er sich bemüht habe, mehrere genaue Kopien des Etalons anzufertigen. Allein schon bei der Vergleichung einiger von anderen Physikern hergestellten Kopien fand sich eine so große Verschiedenheit, daß an ein Beibehalten dieses Maßes nicht zu denken war. Der Grund dieser Verschiedenheiten war, die Veränderung des spezifischen Widerstandes selbst, mochte sie nun herrühren von dem Vorhandensein von Kupferoxydul und sonstigen Unreinigkeiten im Drahte, oder von der Wirkung des durchgehenden Stromes selbst. Siemens suchte deswegen einen Körper, dessen spezifischer Widerstand sich nicht so leicht, wie der der Drähte veränderte, und der überall leicht mit völliger Reinheit zu erhalten sei. Das war Quecksilber. Zunächst giebt Siemens an, wie man in Glasröhren sich Quecksilberfäden von bestimmter Länge und genau bestimmten Querdurchschnitt herstellen könne. Es ist leicht aus gewöhnlichen käuflichen Glasröhren sich Strecken von der Länge l auszuwählen, sodaß sie nahezu einen abgestumpften Kegel bilden mit den Begrenzungsradien R und r, dann ist der Widerstand einer so mit Quecksilber gefüllten Röhre $= \frac{l}{R \, . \, r \pi}$, oder wenn man mit α den Quotienten $\frac{R^2}{r^2}$ bezeichnet, mit g das Gewicht des Quecksilbers und mit σ sein spezifisches Gewicht, so ist

$$w = \frac{l^2 \sigma}{g} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + 1 / \sqrt{a}}{3}.$$

Wenn R und r nahe gleich sind, ist der zweite Bruch von 1 sehr wenig verschieden. Siemens vergleicht nun diesen Quecksilberetalon mit dem Jacobischen, untersucht dann den Einfluß der Temperaturerhöhung, welche unter allen einfachen Metallen auf den Widerstand des Queksilbers am wenigsten vergrößernd wirkt, und schlägt endlich vor, nicht, wie er es in dieser Untersuchung gethan, den Widerstand von einer Quecksilbersäule von 1 mm Länge und 1 qmm Querschnitt als Einheit zu betrachten, sondern „den Widerstand eines Quecksilberprismas von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 0°.“

Mit diesem neuen Widerstandsmaß verbindet Siemens dann die Einführung seiner Rheostaten, die als Stöpselrheostaten

die weiteste Verbreitung gefunden haben, indem sie Vielfache der Siemenschen Einheit oder alliquote Teile davon angeben, und welche wegen ihrer äußerst bequemen Handhabung wohl in keinem Laboratorium fehlen (cf. pag. 382).

Weber prüft beide Etalons, den Thomsonschen und den Siemenschen. Für den Thomsonschen Etalon, d. h. für die Einheit der Brit. Ass. fand Weber $10\,293\,000 \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$ und für die Siemensche Einheit $= 10\,257\,000 \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$, während aus der Vergleichung, welche Siemens mit dem Jacobischen Etalon angestellt hatte, der Wert $6\,788\,000 \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$ hätte abgeleitet werden müssen, allein da Siemens den Jacobischen Etalon nicht selbst, sondern nur eine Kopie davon besaß, ist der letztere Wert als der unrichtige zu bezeichnen.

348. Die Wichtigkeit dieser absoluten Messung veranlaßt Weber nun die Methode der Widerstandsbestimmung genau zu untersuchen. Der Widerstand w ist $= e/i$. Drückt man beide Größen absolut aus, so erhält man den absoluten Widerstand, dieser Quotient ist aber eine einfache Zahlengröße und repräsentiert eine Geschwindigkeit; diese dem Widerstande gleiche Geschwindigkeit ist $2n\pi r$, wenn wir es mit einem dem magnetischen Meridian parallelen Stromleiter vom Halbmesser r, in dessen Mittelpunkt sich die Nadel befindet, zu thun haben, wenn derselbe in einer Sekunde um eine horizontale Achse $n$mal herumgedreht wird. Die Messung des Quotienten e/i läßt sich mit Hilfe der Induktionsstöße nun so ausführen, daß man die auf ganz kurze Zeiten beschränkten Integralwerte $\int e dt$ und $\int i dt$ mißt. Diese Integralwerte sind mit dem Erdinduktor leicht zu bestimmen z. B. $\int e dt$ durch Umdrehung des Induktors um 180° in der früher beschriebenen Weise. Wenn die vertikal Komponente des Erdmagnetismus wirkt, welche mit T' bezeichnet werde, dann ist $\int e dt = 2\pi r^2 T'$ während einer solchen schnell ausgeführten Drehung. Ebenso bestimmt sich, wenn m der Magnetismus, k das Trägheitsmoment, t die Schwingungsdauer und α die Elongationsweite der Nadel ist $\int i dt = \frac{2rk}{\pi m t} \cdot \alpha$. Da nun $mT/k = \pi^2/t^2$ ist, wenn T die horizontale Komponente des Erd-

magnetismus ist, und $T' / T = \text{tang}\, J$, wenn J die Inklination ist, so ist endlich $w = \frac{\pi^4 r}{\alpha . t} . \text{tang}\, J$, oder wenn man statt einer Windung n gleich große hat, $w = \frac{n^2 \pi^4 r}{\alpha . t} . \text{tang}\, J$.

Da es für die Messung nun weiter von Nutzen ist, den Induktorring nicht auch als Multiplikatorring zu verwenden, so hat man beide zu trennen. Bezeichnet dann n die Windungszahl des Induktorringes vom Halbmesser r, n' die Windungszahl des Multiplikatorringes vom Halbmesser r', γ die der Nadel erteilte Drehungsgeschwindigkeit und t die Schwingungsdauer derselben. so ist $w = \frac{4 n . n' . \pi^4}{\gamma . t^2} . \frac{r^2}{r'} . \text{tang}\, J$.

Durch diese Trennung von Induktor und Multiplikator ist nun aber die Möglichkeit geboten, letzterem die möglichst wirksame Gestalt zu geben, wobei jedoch zu beachten ist, daß bei Abweichung von der Form der Tangentenbussole auch die Bestimmung $\int i dt = \frac{r k}{2 \pi m} . \gamma$ hinfällig wird, also der Quotient $\frac{\gamma}{\int i d t}$, d. h. der Empfindlichkeitskoëffizient des Apparates erst bestimmt werden muß. Dieser ändert sich aber leicht, er muß deswegen aus den Beobachtungen selbst abgeleitet werden können; dazu giebt die Beobachtung der Dämpfung bei der Zurückwerfungsmethode das Mittel. Sei λ das logarithmische Dekrement bei geschlossener Kette, λ_0 dasselbe bei offener Kette, t die Schwingungsdauer bei offener Kette und $\lambda_1 = \lambda + \lambda$, so ergiebt sich dann das Resultat

$$w = \frac{8 (n \pi r^2 T')^2}{K \gamma^2 t_0} . \lambda . \sqrt{\frac{\pi^2 + \lambda_0^2}{\pi^2 + \lambda_1^2}}.$$

Einen analogen Ausdruck erhält man, wenn man T als induzierende Komponente verwendet.

349. Ist so die absolute Widerstandsbestimmung auch ohne Tangentenbussole ermöglicht, so kann man sich das Galvanometer so praktisch wie möglich einrichten. Dieser Wunsch führt Weber zur Theorie des Multiplikators; Weber giebt an, wann unifilare, wann bifilare Aufhängung zu wählen sei, welche Gestalt die Windungen haben müssen, um möglichst stark zu wirken bei rektangulärem und bei kreisförmigem Querschnitt, und wie die Empfindlichkeit von diesen Formen abhänge. Darauf führt

Weber die Messungen aus, deren Resultat ich schon angab, und wendet sich dann zu einer Vergleichung der Widerstandsbestimmungsmethoden. Deren giebt es drei, die auf den folgenden Prinzipien beruhen. 1) Der Widerstand zweier Leiter ist gleich, wenn durch gleiche elektromotorische Kräfte gleiche Ströme in ihnen erregt werden. 2) Wenn zwei Leiter successive in dieselbe Kette eingeschaltet werden, in welcher immer die nämliche elektromotorische Kraft wirkt, so ist der Widerstand der beiden Leiter gleich, wenn die Stromintensitäten gleich sind. 3) Die Methode der einfachen und doppelten Teilung eines Stromes.

Die beiden ersten Methoden erfordern so absolute Gleichheit zweier elektromotorischer Kräfte, oder eine so vollständige Konstanz einer Kraft, und schließen die Beobachtung in so enge Grenzen, daß sie von selbst nicht in Betracht kommen bei genauen Bestimmungen. Das Prinzip der einfachen Stromteilung findet sich, wenn ein Strom sich in zwei Teile teilt, die jeder durch gleiche Multiplikatoren gehen und dieselbe Nadel ablenken aber in entgegengesetztem Sinne, so sind die Widerstände in beiden Teilen gleich, wenn die Ablenkung 0 ist. Dies ist praktisch im Differentialgalvanometer durchgeführt, während die doppelte Stromteilung das Prinzip der Wheatstoneschen Brücke repräsentiert, wonach der Strom in der Brücke = 0 ist, wenn $a/b = w/v$ ist, oder, da w/v im normalen Verhältnis gleich eins sind, wenn $a = b$ ist. Das Resultat der Berechnung Webers ist, daß die Methode des Differentialgalvanometers die der Wheatstoneschen Brücke übertrifft, wenn es sich um Gleichmachung zweier Widerstände handelt, daß die Wheatstonesche aber besonders da anzuwenden ist, wenn es sich um die Bestimmung des Verhältnisses zweier ungleicher Widerstände a und b handelt.

350. Zum Schluß dieser inhaltreichen Arbeit wendet sich Weber den allgemeinen Prinzipien der Widerstandsmessung zu. Beim Durchgange eines Stromes durch einen Leiter hat derselbe Widerstand zu überwinden, die Wirkung des Widerstandes zeigt sich in der Entstehung einer ganz bestimmten Stromstärke bei einer bestimmten elektromotorischen Kraft, daneben leistet der Strom auch eine Erwärmung des Leiters, Wärme aber ist mit Arbeit äquivalente lebendige Kraft. Wir

bezeichnen daher die durch einen Strom erzeugte Wärme als Stromarbeit. Nun sind nach dem Lenzschen Erfahrungsgesetze für ein und denselben Körper die bei den verschiedenen Stromintensitäten i erzeugten Wärmemengen derartig von einander abhängig, daß $A/i^2 = \text{const.}$ ist. Vergleicht man diese dem Leiter eigentümlich zukommende Größe mit dem ihm ebenfalls eigentümlich zukommenden absoluten Widerstand, so findet sich die Stromarbeit $\frac{dA}{dt} = w \,.\, i^2$. Da nun $i = \frac{e}{w + w'}$, wo w' den Widerstand des Elektromotors bezeichnet, so ist das Maximum der Stromarbeit im Leiter, wenn der Widerstand des Leiters gleich dem Widerstande des Elektromotors, d. h. $w = w'$ ist, d. h. dies Maximum ist $= \frac{e^2}{4\,w'}$; und wenn die gesammte Stromarbeit $= \frac{e^2}{2\,w'}$ ist, also ihr Maximum hat, wenn der Elektromotor in sich selbst geschlossen ist. Es läßt sich also aus der beobachteten Wärme mit Hilfe der Wärmetheorie, welche diese in Arbeit umzusetzen gestattet, ebenfalls der absolute Widerstand des erwärmten Körpers bestimmen. Weber führt dies an einzelnen Beispielen aus den Beobachtungsreihen von Becquerel und Lenz durch, z. B. für einen Platindraht Ed. Becquerels, dessen absoluter Widerstand sich auf $14425 \cdot 10^6$ berechnet, und einem Kupferdrahte von Lenz mit dem Widerstande $3490 \cdot 10^6$. Endlich spricht Weber die Hoffnung aus, daß man durch fortgesetzte Beobachtungen einen Zusammenhang zwischen Elektrizität, Wärme und Licht finden möge.

351. Diese Weberschen Untersuchungen über absolute Maße für die verschiedenen Größen sind nun äußerst fruchtbringend gewesen. Freilich es hat eine lange Zeit gedauert, ehe sie allgemeine Anwendung fanden und gerade bei uns in Deutschland ist wohl am längsten nach willkürlichen Maßen gemessen. Man hatte bei uns eben die vorzügliche Siemenssche Einheit und besaß nicht, was Weber so sehr wünschte, eine Kommission oder eine Centralstelle, wo die absoluten Widerstandseinheiten normativ hergestellt werden konnten; jedem war es überlassen, für sich selbst zu sorgen. Ich habe schon erwähnt, wie die Engländer zuerst die Webersche absolute Einheit zu Grunde legten. Doch es sind 30 Jahre

vergangen, ehe diese absoluten Maße Webers für alle civilisierten Staaten bindend geworden sind. Der Elektriker-Kongreß zu Paris 1881 hat die absoluten Maße adoptiert, freilich unter einer Modifikation, während Weber als absolute Einheiten das Milligramm, Millimeter und die Sekunde einführte, und zwar mit gutem Grunde, da in der Physik gerade das Millimeter fast ausschließlich gebraucht wird, seltner oder nie das Centimeter, hat der Kongreß als Einheiten das Gramm, das Centimeter und die Sekunde eingeführt. Nach diesen Grundmaßen ergiebt sich:

1) Die Einheit der elektromotorischen Kraft, bezeichnet als ein Volt, als diejenige, welche durch den Erdmagnetismus in einem geradlinigen, zur Richtung des Erdmagnetismus senkrechten Leiter von der Länge 1 induziert wird an einem Orte, wo die Intensität des Erdmagnetismus 1 ist, wenn der Leiter parallel mit sich selbst mit der Geschwindigkeit 1 bewegt wird ($= 10^8$).

2) Die Einheit der Stromstärke, bezeichnet als ein Ampère, ist die, welche in einem Leiter von der Länge 1 vorhanden sein muß, damit er auf den Magnetismus 1 in der Entfernung 1 die Kraft 1 ausübe ($= 10^{-1}$).

3) Die Einheit des Widerstandes $= 10^{10} \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ $= 10^{9} \frac{\text{Centimeter}}{\text{Sekunde}}$, bezeichnet als ein Ohm (die British Association hatte dies Maß Ohmad genannt), also gleich 10^{10} Weberschen absoluten Einheiten $= 1 \frac{\text{Erdquadrant}}{\text{Sekunde}}$.

4) Die Einheit der Elektrizitätsmenge, bezeichnet als ein Coulomb, ist die, welche durch ein Ampère in einer Sekunde erzeugt wird ($= 10^{-1}$).

5) Die Einheit der Kapazität (d. h. der Quotient aus Elektrizitätsmenge in einem Körper durch das Potential), bezeichnet als ein Farad, ist die, bei welcher ein Coulomb ein Volt giebt.[1])

Was über diese Bestimmungen zu sagen ist, läßt sich kurz hinzufügen. Wir Deutschen werden es sehr schmerzlich vermissen, daß der Name des Mannes, der die ganze absolute

---

1) Wiedem. Annal. Bd. 14. 1881. pag. 708.

Maßmethode durchgeführt und begründet hat, unter diesem Namen sind dagegen andere gewählt und, die mit den betreffenden Einheiten in durchaus keinem oder doch nur sehr geringem Zusammenhange stehen. Es ist gewiß ein sehr wunderbarer Grund, daß man die Beseitigung des von den Engländern bereits gebrauchten Namens ein Weber, statt ein Ampère, damit begründen wollte, daß ja bei der Verschiedenheit der zu Grunde gelegten Längeneinheiten die Webersche Stromintensität 1 sich von dieser um 10 unterscheide. Ampère ist an dieser Art der Intensitätsmessung völlig unschuldig, und ebensowenig hat Faraday etwas mit dieser Messung der Kapazität zu thun.

Die Größenverhältnisse selbst sind praktisch so bestimmt, daß ein Volt = 0,89 Daniells Normalelement und daß ein Ohm nahezu = 1,06 Siemensschen Einheiten ist. Da bei der Bestimmung des Ohm die Brit. Assoc. nicht genau genug vorgegangen, sind neuere Bestimmungen nötig, wozu eine Kommission berufen werden soll. In neuester Zeit hat Dorn das Verhältnis des Ohm zur Siemensschen Einheit bestimmt, danach ist ein Ohm = 1,0645 S.E. Es müssen diese Beobachtungen wiederholt werden und dann muss gleichzeitig die Länge einer Quecksilbersäule bei 0° von dem Querschnitt 1 qmm bestimmt werden, welche einem Ohm entspricht. Man hat hier also Siemens' Vorschlag in Bezug auf Quecksilber als Normalkörper adoptiert.

352. Weber macht für sein Gesetz dieselbe Grundhypothese wie Ampère, daß nämlich zwei Stromelemente aufeinander wirken in der Richtung der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte, sobald man die Stromelemente in Punkten konzentriert denkt, fällt sie zusammen mit der Annahme Coulombs, daß zwei elektrische Massen in der Richtung ihrer Verbindungslinie wirken, dann ist es auch die Annahme Newtons, die dem Attraktionsgesetz zu Grunde liegt. Allein so natürlich diese Annahme auch erscheint, so ist insofern ein Unterschied da, als man beim Newtonschen und Coulombschen Gesetz es wirklich mit Punkten, wo die Massen konzentriert gedacht werden, zu thun hat. Beim Ampèreschen und Weberschen Gesetz hat man mit den Stromelementen eine bestimmte Richtung zu

verbinden, durch deren Änderung der erhaltene Wert je nach dem Winkel, welchen die Stromrichtung mit der Verbindungslinie der Elemente bildet, geändert wird. Bedenken dieser Art waren es, welche Graßmann[1]) veranlaßten, eine „neue Theorie der Elektrodynamik“ aufzustellen, welche in allen Resultaten für geschlossene Ströme mit den bewährten Resultaten Ampères übereinstimmt, für nicht geschlossene Ströme aber oft entgegengesetzte Resultate zeitigt. Hervorgehoben mag noch werden, daß die Graßmannsche Theorie nahezu gleichzeitig mit den berühmten ersten Arbeiten Webers zur Auffindung seines elektrischen Grundgesetzes ans Licht getreten ist.

Graßmann zeigt zunächst an einem Beispiele, wie die Ampèresche Theorie unter Umständen etwas Bedenkliches habe. Er wendet die Ampèresche Formel, nach welcher die Kraft K zwischen zwei Stromelementen ds und ds' mit den Intensitäten i und i' gleich ist $\frac{a.b}{r^2}(2\cos\varepsilon - 3\cos\alpha.\cos\beta)$, wo $a = ids$, $b = i'ds'$ ist, an auf den Fall zweier paralleler Stromelemente, wo $\varepsilon = 0$ ist, also $\cos\varepsilon = 1$. Dann ist die Kraft

$$K = \frac{ab}{r^2}(2 - 3\cos^2\alpha).$$

Dieser Ausdruck wird 0 wenn $\cos\alpha^2 = \frac{2}{3}$ d. h. $\cos 2\alpha = \frac{1}{3}$ ist. Denken wir uns also einen Kegel, dessen Spitze in dem anziehenden Element liegt, dessen Winkel 2α ist, sodaß $\cos 2\alpha = \frac{1}{3}$ ist, so muß auf dieser ganzen Kegeloberfläche die Wirkung $= 0$ sein, innerhalb derselben muß Abstoßung außerhalb Anziehung stattfinden. Eine solche Folgerung erregt nun billig Verdacht.

Um nun gar keine besondere Annahme zu machen, geht Graßmann aus von einem „Winkelstrom“; er denkt sich die Schenkel eines Winkels von einem Strom durchflossen, dessen Bahn also nach zwei Seiten ins Unendliche geht, dann läßt sich jeder geschlossene Stromkreis als aus Winkelströmen von gleicher Stärke bestehend denken, und als einzige Annahme setzt er voraus, daß zwei gleich große, entgegengesetzt gerichtete Ströme sich aufheben. Dann ist z. B. ein das Dreieck abc durchfließender

---

1) Pogg. Annal. Bd. 64. 1845. pag. 1.

Strom zu betrachten als zusammengesetzt aus den Winkelströmen *dae*, *ebf*, *fcd*. Man hat dann nur zu untersuchen, wie wirkt ein Winkelstrom auf ein Stromelement, dessen Mittelpunkt in der Ebene des Winkels liegt. Da nun nach der Ampèreschen Formel die Wirkung auf ein gegen die Ebene des Winkelstromes geneigtes Element gleich ist der auf die senkrechte Projektion dieses Elementes auf die Ebene, so braucht man nur die Wirkung auf ein in der Ebene liegendes Stromelement zu betrachten. Diese Wirkung wird zerlegt in zwei Komponenten, eine in der Richtung des Stromelements, die zweite senkrecht dazu. Diese erste ist, wie sich aus dem Ampèreschen Gesetz ergiebt, von der Richtung eines einwirkenden unendlich langen Stromes, der durch einen Strahl fließe, unabhängig, folglich für einen Winkelstrom gerade so groß, als ob die Schenkel der Winkel zusammenfielen und von entgegengesetzten Strömen durchflossen wären d. h. diese Komponente ist 0, das heißt aber: die Wirkung eines Winkelstromes auf ein in seiner Ebene liegendes Element ist senkrecht gegen dasselbe, also auch die Wirkung eines geschlossenen Stromes gegen ein Stromelement ist stets senkrecht gegen letzteres. Die hiernach hervorgerufene Bewegung des angezogenen Elementes senkrecht zu seiner Richtung ist, wenn die Anziehung von einem linearen Strom von der Stärke i ausgeübt wird

1) $$= \frac{i \,.\, b'}{r} \,.\, \operatorname{cotg} \tfrac{1}{2} \alpha,$$

wo r die Entfernung des Mittelpunktes des Elementes vom Anfangspunkt des Strahles, der die Strombahn bildet, α der Winkel von r mit diesem Strahle, b' die senkrechte Projektion des Elementes auf die Ebene des Winkels α bedeuten. Die Bewegung des Stromelementes findet entweder nach rechts oder links von ihm statt, jenachdem der Strom im Strahl zur rechten oder linken Hand des von ihm aus das Element Betrachtenden fortläuft. Für einen Winkelstrom, wo r vom Scheitelpunkt des Winkels zu ziehen ist und hier mit den Schenkeln die Winkel α und α' bildet, ist demnach die Wirkung ausgedrückt durch

2) $$\frac{i\, b'}{r} (\operatorname{cotg} \tfrac{1}{2} \alpha - \operatorname{cotg} \tfrac{1}{2} \alpha').$$

Die Gleichung (1) macht Graßmann zum Fundament seiner Theorie, weil er meint, darin nichts Hypothetisches zu haben. Betrachtet man nun zwei Stromelemente und faßt *ids* so auf, daß es einen Winkelstrom repräsentiere, d. h. daß es die Vereinigung zweier durchströmter Strahlen sei, deren einer in der dem Element gleichen Richtung, deren zweiter in entgegengesetzter Richtung durchflossen wird, sodaß der Anfangspunkt des ersten der Anfangspunkt des Elementes, der Anfangspunkt des zweiten aber der Endpunkt des Elementes ist; dann erhält man als Wirkung des Elementes *a* auf das Element *b* den Ausdruck:

$$3) \qquad \frac{a \, . \, b'}{r^2} \cdot \sin \alpha,$$

wenn b' und α dieselbe Bedeutung wie oben haben. Angewandt auf gekreuzte Ströme oder sich schneidende Ströme ergiebt sich dasselbe Resultat, wie bei Ampère. Die Wirkungen aller geschlossenen Ströme sind, aus dieser Formel abgeleitet, identisch mit den Ampèreschen Beobachtungen. Ein Unterschied ergiebt sich, sobald man einzelne Stromteile oder ungeschlossene Ströme anwendet. Für zwei Stromelemente, die in einer geraden Linie liegen, ergiebt sich nach Ampère Abstoßung, während sich nach Formel (3) die Wirkung 0 ergiebt. Ein Experiment zur Entscheidung der beiden Theorien wäre z. B. folgendes: Bezeichnet AB ein begrenztes Stromelement (der Strom wäre hier etwa durch Entladung zweier mit entgegengesetzter Elektrizität geladener Konduktoren durch einen Draht zu erzeugen), senkrecht zu ihm befinde sich eine Magnetnadel mit ihrem Mittelpunkt in der Verlängerung von AB, so wird, wenn man sich in der Nadel eine Figur denkt mit dem Kopf am Nordpolende, mit den Füßen am Südpol, das Gesicht der Richtung des Stromes zugekehrt, die Nadel nach Ampère nach rechts, nach Graßmann nach links abgelenkt.

Um den Gegensatz Graßmanns gegen Ampère noch einmal kurz zu wiederholen, können wir sagen, daß Ampère annimmt, die Leiterelemente wirken aufeinander mit in die Richtung ihrer Verbindungslinie fallenden Kräften, Graßmann dagegen mit Kräften senkrecht gegen das affizierte Element.

[illegible]

[illegible] Bewegung er[illegible] aus [illegible] und demselben [illegible] müssen, so ergeben sich folgende [illegible]

[illegible]

[illegible] man nun das [illegible] der Gleichheit von Aktion und Reaktion gelten, so ist offenbar = [illegible] die Gleichungen sind also

[illegible]

1) Berichte der königl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1865. Bd. 17. Sitzung vom 18. Mai.

2) Comptes rendus. 186[illegible]. Bd. [illegible] pag. 99[illegible].

3) Sitzungsberichte d. Wiener Akademie. Math. Nat. Klasse. Bd. 59. II. [illegible]

Bestimmt man hieraus $b-c$ und a, so ist $b-c=-1$ und $a=\frac{1}{2}$; man kann dann noch b oder c beliebig wählen, setzt man $b=-1$, dann ist $c=0$. Dies ist der Fall für das Ampèresche Gesetz. Man könnte auch $b=0$ setzen, dann wäre $c=1$ und es würde zwischen parallelen transversalen Elementen keine Wirkung stattfinden, dagegen eine transversale zwischen longitudinalen und transversalen Elementen. Läßt man das Prinzip der Gleichheit von actio et reactio nicht gelten, so läßt sich aus 1) und 2) $a-d$ eliminieren und man hat als Folge $b-c=-1$; nimmt man dementsprechend an $b=0$, so ist $c=1$; setzt man dann auch $a=0$, so ist $d=\frac{1}{2}$, dann wirken nur transversale Kräfte; setzt man $c=0$ und ebenfalls $a=0$, so ist $b=-1$; $d=-\frac{1}{2}$; endlich für $d=0$ und $a=0$, ergiebt sich $b=-\frac{1}{2}$; $c=\frac{1}{2}$. Dieser letztere Fall ist identisch mit dem Graßmannschen Gesetz.

Für geschlossene Ströme sind alle Gesetze so, daß sie gleiche Wirkungen liefern bei der Intergration über die ganzen Ströme. Speziell ergiebt sich für den Fall des Ampèreschen und Graßmannschen Gesetzes, daß sich das Ampèresche so schreiben läßt, daß darin zwei Glieder vorkommen, welche sich für geschlossene Ströme zerstören, und daß die beiden übrigbleibenden direkt den Graßmannschen Ausdruck geben, sodaß die Formel Graßmanns immerhin den Vorzug der Einfachheit hat, während das Verlassen des Prinzips der Gleichheit von actio et reactio immerhin ein schweres Bedenken gegen dieselbe involviert. Bei geschlossenen Strömen wird es also nicht nötig sein, neue Versuche anzustellen, da dieselben sicher von allen Theorien, die nach obigem Schema aufgestellt werden, gleich richtig erklärt werden. Ein experimentum crucis ist also das Verhalten ungeschlossener Ströme, jedoch die Schwierigkeit der Untersuchung hat es bisher nicht gelingen lassen, diese Frage zu entscheiden.

354. Das Webersche Gesetz hat in späterer Zeit eine heftige Kontroverse zwischen Helmholtz einerseits und den Anhängern des Weberschen Gesetzes andrerseits hervorgerufen, die leider nicht ohne viel Erregtheit geführt ist, und auf welche ich hier wenigstens ganz kurz eingehen möchte, indem ich nur die Hauptpunkte der Helmholtzschen Bedenken und der

Weber'schen Erwiderungen angeregt. Helmholtz[1] leitete nämlich aus einer Anwendung des Weber'schen Gesetzes auf elektrische Strömungen im Innern von Leitern den Einwand ab, daß dasselbe unter Umständen labiles Gleichgewicht der Elektrizität in Leitern gebe, während doch das Experiment lehre, daß es stabil sei. Bei Anwendung des Neumann'schen Induktionsgesetzes erhielt Helmholtz stabiles Gleichgewicht. Es fragte sich, ob dieser Fall, bei welchem labiles Gleichgewicht folgt, wirklich vorkommen könne, denn nur dann hat der Einwand eine Bedeutung. Als Beispiel wählt Helmholtz die radialen Strömungen in einer leitenden Kugel, welche hervorgerufen werden durch die Ausdehnung oder Verengerung einer konzentrischen mit Elektrizität geladenen Kugelschicht. Da dies Experiment so nicht ausführbar ist, meint Helmholtz, könne man durch Superposition einer radialen Bewegung ein und desselben Körpers nach allen Richtungen hin das Beispiel ausführbar machen. Den Grund dieses labilen Gleichgewichtes sieht Helmholtz im Weber'schen Gesetze selbst: denn wenn ein Massenteilchen m, welches mit der Elektrizität e behaftet ist, sich unter dem Einflusse der elektrischen Masse ε bewegt, so würde

$$m\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{e\varepsilon}{r^2}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \frac{2r}{c^2}\frac{d^2r}{dt^2}\right)$$

sein müssen, oder nach Integration und Auflösung müßte:

$$\frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = \frac{C - \frac{e\varepsilon}{r}}{\frac{1}{2}mc^2 - \frac{e\varepsilon}{r}}$$

sein, d. h. für $e\varepsilon/r = \frac{1}{2}mc^2$ wird $dr/dt = \infty$, wenn dr/dt zuerst positiv war, als noch $e\varepsilon/r > \frac{1}{2}mc^2 > C$ war. Dies würde also heißen: in endlicher Zeit kann durch die elektrische Wechselwirkung bei anfänglich endlicher Geschwindigkeit unendliche lebendige Kraft erhalten werden, und das würde dem Gesetz von der Erhaltung der Energie widersprechen. Um die Resultate seiner Untersuchung bequem vergleichbar zu machen, giebt Helmholtz dem Ausdruck des Potentials einen allgemeinen

1 Borchardts Journal für die reine und angewandte Mathemat. Bd. 72. pag. 57—129. 1870. Gesammelte Abhandlungen I. pag. 545.

Charakter. Es würde das Potential zweier Stromelemente ds und $d\sigma$ danach sein:

$$-\tfrac{1}{2}A^2\frac{ij}{r}[(1+k).\cos(ds\,d\sigma)+(1-k).\cos(r\,ds).\cos(r\,d\sigma)]\,ds.d\sigma,$$

wo $\frac{1}{A} = 310740.10^6 \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ und k eine Konstante ist; setzt man $k = +1$, so hat man Neumanns Potentialausdruck; setzt man $k = 0$, so erhält man das aus Maxwells Theorie resultierende Potential, setzt man endlich $k = -1$, so hat man Webers Potential. Aus den vorstehenden Bedenken schließt Helmholtz, daß der letzte Wert von k unmöglich sei.

Gegen diese Bedenken wendet Weber[1]) ein, daß die Bedingung, unter welcher die unendliche lebendige Kraft erreicht wird, nach Helmholtz sei $\frac{1}{2}mc^2 \geqq \frac{ee'}{r}$; d. h. die elektrischen Teilchen müßten sich mit einer Geschwindigkeit größer als $439450.10^6 \frac{\text{Millimeter}}{\text{Sekunde}}$ bewegen. Eine Geschwindigkeit, welche wir noch nirgend in der Natur gefunden haben. Auch für die Bewegung von Körpern giebt es Grenzwerte, es wäre also möglich, daß diese für elektrische Teilchen eben das c^2 wäre. Ferner würden die Teilchen diese unendliche lebendige Kraft erhalten in der Entfernung $\varrho = \frac{2ee'}{c^2}\left(\frac{1}{\varepsilon}+\frac{1}{\varepsilon'}\right)$; wo ϱ wie auch ε und ε' unangebbar klein sind, d. h. in molekularer Entfernung; denkt man sich aber, wie es naturgemäß ist, die elektrischen Massen e und e' nicht in Punkten, sondern wie die ponderabeln Massen in einem kleinen Raum ausgebreitet, so muß, während ein Teilchen eines solchen Raumes die Entfernung ϱ erhalten hat, ein anderes Teilchen, das vorher die Entfernung ϱ hatte, die unendliche Näherungsgeschwindigkeit des ersteren durch unendliche Entfernungsgeschwindigkeit aufwiegen, d. h. es wäre von diesen unendlichen Geschwindigkeiten überhaupt nicht die Rede. Ein gleicher Widerspruch würde auch in dem Gravitationsgesetz liegen, wenn man die Massen m und m' in Punkten konzentriert denkt. In derselben Arbeit giebt Weber das Potential für sein

---

1) Abhandlungen der königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 10. 1871. Prinzipien einer elektrodyn. Theorie etc. pag. 170.

Gesetz wieder an, welches er bereits 1848 aufgestellt hatte[1], nämlich

$$V = \frac{e e'}{r}\left(\frac{1}{c^2}\left(\frac{d r}{d t}\right)^2 - 1\right).$$

Webers Gesetz läßt sich auch als Energiegesetz aussprechen. Bezeichnet U die geleistete Arbeit, X die lebendige Kraft, so ist allgemein

$$U + X = a,$$

wo a eine Konstante ist, es kann also in einem vollständigen Kreisprozeß die Summe der Arbeit und potentiellen Energie immer nur dieselbe bleiben, und diesem Energiegesetze genügt das Webersche Gesetz.

Diese Entgegnung macht Helmholtz[2]) zum Gegenstand eines erneuten Angriffes, indem er abzuleiten sucht, daß sich aus dem Weberschen Ausspruche des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft ergeben würde, daß auf eine ponderabele Masse μ, die teilweise mit Elektrizität versehen sei, wenn μ sich in der Richtung der ausgeübten Kraft bewegte, eine Verzögerung ausgeübt würde, sobald sie sich der Kraft aber entgegengesetzt bewegte, würde die Geschwindigkeit zunehmen. Ferner behauptet Helmholtz, daß die Entfernung ϱ nicht eine molekulare zu sein brauche, da man $\left(\varrho = \frac{2 e e'}{c^2 \mu}\text{ gesetzt}\right)$ wohl $\frac{2 e}{\mu c^2}$ als sehr klein anzusehen habe, aber e' doch jeden beliebigen Wert beilegen könne. Würde jener erste Einwand richtig sein, so wäre nach dem Weberschen Gesetz ein „perpetuum mobile“ möglich, wäre der zweite Satz richtig, so würde der in dem ersten Angriff gegen das Webersche Gesetz enthaltene Vorwurf gerechtfertigt sein, daß wir in endlicher Zeit aus endlicher Geschwindigkeit zu unendlicher lebendiger Kraft kommen.

Weber läßt diesen Angriff nicht ohne Erwiderung.[3]) Es handelt sich wesentlich um die von Helmholtz aus dem Weberschen Gesetz entwickelte Gleichung für die lebendige

1) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 229.

2) Borchardts Journal. Bd. 75. 1873. pag. 35—66. Gesammelte wissenschaftliche Abhandlungen I. pag. 646.

3) Pogg. Annal. Bd 156. 1875. pag. 1—61. Prinzipien einer elektrodynamischen Theorie. p. 236.

Kraft. Bezeichnet μ die träge Masse des elektrischen Teilchens ε im Innern einer Kugel, ε' die elektrische Dichtigkeit auf der Oberfläche der Kugel vom Radius R, q die Geschwindigkeit von μ in der Richtung des Radius, V das Potential der äußeren nicht elektrischen Kräfte auf μ, endlich C eine Konstante (Integrationskonstante), nämlich die Konstante der lebendigen Kraft, und c die Webersche Geschwindigkeit, so ist die Gleichung der lebendigen Kraft

$$\tfrac{1}{2}\left(\mu - \frac{8\pi}{3c^2} R\varepsilon\varepsilon'\right) q^2 - V + C = 0$$

und durch Differentiation ergiebt sich:

$$\left(\mu - \frac{8\pi}{3c^2} . R . \varepsilon\varepsilon'\right) q \frac{dq}{ds} - \frac{dV}{ds} = 0.$$

Wenn dann $\frac{dV}{ds}$ positiv ist und gleichzeitig $\left(\mu - \frac{8\pi}{3c^2} . R\varepsilon\varepsilon'\right)$ negativ, so nimmt q ab, d. h. bei vorwärtstreibender Kraft giebt es eine rückwärtsgehende Beschleunigung. Dies kommt aber nur heraus, wenn man den Ausdruck $\left(\mu - \frac{8\pi}{3c^2} . R . \varepsilon . \varepsilon'\right)$ als eine wirkliche Masse auffaßt, was er thatsächlich nicht ist, es drückt dV/ds gar nicht die ganze treibende Kraft aus, sondern nur einen Teil, nämlich den von den nicht elektrischen Kräften herrührenden, die ganze treibende Kraft resultiert als die Summe

$$\frac{8\pi}{3c^2} . R\varepsilon\varepsilon' q \frac{dq}{ds} + \frac{dV}{ds}.$$

Löst man nun die obige Differentialgleichung auf, so ergiebt sich:

$$dq = \frac{ds}{\mu q}\left(\frac{8\pi}{3c^2} . R . \varepsilon . \varepsilon' . q \frac{dq}{ds} + \frac{dV}{ds}\right),$$

d. h. da $\frac{ds}{\mu q}$ stets positiv ist, bei vorwärtstreibender Gesamtkraft eine Beschleunigung nach vorwärts. In einer späteren Arbeit[1]) behandelt Weber diesen Fall ausführlicher; er setzt

$$\eta = \frac{3c^2\mu}{8\pi R\varepsilon}$$

und nimmt an, daß ε konstant sei, während ε' wachsen soll von 0 zur Zeit $t = -\vartheta$ bis zu η zur Zeit $t = 0$; ferner befinde

1) Wiedem. Annal. Bd. 4. 1878. pag. 366.

sich der Punkt mit der ponderabeln Masse μ und der elektrischen Masse ε im Mittelpunkt der Kugel, dann ergiebt sich, wenn $dV/ds = a$, d. h. konstant gesetzt wird, die Möglichkeit, alle vorkommenden Größen zu berechnen und darzustellen:

1) $$dq = -\frac{a\vartheta}{\mu}\cdot\frac{dt}{t}, \text{ d. h. } q = -\frac{a\vartheta}{2\mu}\cdot\log C^2 t^2.$$

Hieraus ergiebt sich $C^2 = \frac{1}{\vartheta^2}$, weil $q = 0$ sein soll, für $t = -\vartheta$, also folgt

2) $$ds = -\frac{a\vartheta}{2\mu}\cdot\log\frac{t^2}{\vartheta^2}\cdot dt, \text{ d. h. } s = \frac{a\vartheta}{\mu}\left(1 - \tfrac{1}{2}\log\frac{t^2}{\vartheta^2}\right)t + C'.$$

Da $s = 0$ für $t = -\vartheta$, so ist $C' = \frac{a\vartheta^2}{\mu}$; also:

$$s = \frac{a\vartheta^2}{\mu}\left(1 + \frac{t}{\vartheta}\left(1 - \tfrac{1}{2}\log\frac{t^2}{\vartheta^2}\right)\right).$$

Diese Werte ausgerechnet geben die Möglichkeit die Bahn des Punktes zu konstruieren, und es zeigt sich dann, daß in dem Augenblick, wo eine unendlich große Geschwindigkeit eintreten würde, sofort eine entgegengesetzte ebenfalls unendliche Geschwindigkeit eintreten muß, die sich insofern kompensieren, als die Zeit unendlich klein ist, während welcher diese beiden entgegengesetzt gleichen unendlich großen Arbeitsleistungen stattfinden. Ehe dies geschieht, wird jedoch sicher das Teilchen gegen die Wand der Kugel getrieben und hört deswegen der ganze Vorgang der Bewegung auf.

Helmholtz[1]) bemerkt hierzu etwa folgendes: Wenn man den Wert η in die oben erwähnte Gleichung der lebendigen Kraft substituiert, also schreibt

$$\tfrac{1}{2}\mu\left(1 - \frac{\varepsilon'}{\eta}\right)q^2 = V - C,$$

kann man aus dieser Gleichung sofort erkennen, daß, wenn ε' bis zum Werte η und über diesen hinaus wachsen könnte, und vor dem Moment, wo $\varepsilon' = \eta$ wird, q reell wäre, es in dem genannten Momente unendlich und nachher imaginär werden würde, wenn nicht gleichzeitig $V - C$ durch o ginge und sein Zeichen wechselte. Einen solchen Sprung könnte $V - C$

1) Wissenschaftliche Abhandlungen von Helmholtz I. pag. 684.

nun aber nicht machen. Dabei wäre freilich zu berücksichtigen, daß die Wirkung der fortschreitenden Ladung auf der Kugel auf das Teilchen μ nicht mit berücksichtigt ist, und deswegen wäre wohl die obige Gleichung überhaupt noch nicht in Ordnung.

Die aus dem Prinzip der Energie abgeleiteten obigen Ausdrücke für q in Gleichung 1) setzen ferner voraus, daß die Integrationskonstante C beim Durchgange durch die Zeit $t = o$ ihren Wert ändern, oder wenn C_0 der Wert von C für die Zeit $+ t$, C_1 der für die Zeit $- t$ ist, so muß

$$C_0 + C_1 = 0$$

sein, wofür Helmholtz einen zwingenden Grund nicht einsieht, nimmt man diese Gleichung aber wirklich an, so fällt der imaginäre Wert von q fort.

Die übrigen Einwände von Helmholtz, die ich früher erwähnte, behandelt Weber in früheren Arbeiten. Gehen wir zurück auf den Ausdruck:

$$\varrho = \frac{2\,e\,e'}{\mu\,c^2},$$

von welcher Distanz Weber gesagt hatte, sie sei molekular. Helmholtz meint dagegen, man könne e' ja einen beliebigen großen Wert geben, damit der sehr kleine Wert $\frac{2\,e}{\mu\,c^2}$ aufgewogen würde. Allein wenn man bedenkt, daß bei wachsendem e' auf der Kugel der Durchmesser wie $\sqrt{e'}$ wächst, so würde in der That, damit ϱ z. B. den Wert 1 erhielte, der Radius der Kugel, auf welcher e' gedacht wird, gleich sein $a \sqrt{\frac{\mu\,c^2}{2\,e}}$; wo a den Proportionalitätsfaktor bezeichnet zwischen e' und dem Radius, d. h. der Radius müßte sehr groß sein. Nun handelt es sich aber in dem betrachteten Falle um Größe und Maße von Atomen, und nicht um Weltkörper, es ist deswegen in der That ϱ als unmeßbar klein zu betrachten.

Den ersten Einwurf Helmholtz', daß bei endlicher Anfangsgeschwindigkeit in endlicher Zeit unendliche Geschwindigkeit erhalten würde, habe ich bereits ausführlicher erwähnt mit der Weberschen Entgegnung.

Ich glaube so die Phasen dieser Kontroverse ziemlich

übersichtlich, soweit es der beschränkte Raum, der sich mir für diese Zeitepoche noch bot, gestattete, objektiv dargestellt zu haben, indem ich fast wörtlich aus den betreffenden Publikationen citierte; ich habe dabei die Bemerkungen der anderen Gelehrten, welche in diesen Streit eingriffen, wie die Neumanns, Zöllners, Rieckes etc. übergangen, nicht als ob diese Arbeiten unwichtig wären, sondern weil bei der Grenze die eine historische Darstellung haben muß, und die ich mir mit dem Jahre 1847, d. h. mit der mathematischen Formulierung des Gesetzes der Erhaltung der Kraft durch Helmholtz (siehe weiter unten) gesetzt habe, eine Beschränkung auf das Notwendigste geboten erschien, und dieses Notwendigste glaube ich eben in Webers und Helmholtz' Arbeiten gefunden zu haben.

Dabei möchte ich noch besonders erwähnen, daß der Streit nicht nur für die Klarlegung des Weberschen Gesetzes, daß es nämlich für alle bisher in den Kreis der Beobachtung gezogenen Erscheinungen mit voller Gültigkeit anwendbar ist, von größtem Nutzen war, sondern daß er fruchtbringend für die Wissenschaft gewesen ist nach den verschiedensten Seiten. Und das ist doch ein wesentlicher Vorteil einer solchen Kontroverse, sodaß wir, so sehr wir auch den oft nicht gerade erquicklichen Ton, in welchem so hervorragend verdiente Männer angegriffen wurden, beklagen, doch für die Wissenschaft nur Nutzen daraus erblühen sehen. Helmholtz wurde durch diesen Streit veranlaßt, das Neumannsche Potentialgesetz auf erweiterte Gebiete anzuwenden und seine allgemeinste Brauchbarkeit zu dokumentieren, was von dauerndstem Werte ist, und Weber hat in der Erweiterung des Energiegesetzes zum Gesetz von der Erhaltung der Energie (siehe unten), in der Anwendung auf Wärme, auf Bewegung elektrischer Teilchen, auf Schwingungen elektrischer Teilchen und auf die Thermoelektrizität eine große Zahl neuer, fruchtbarer Gesichtspunkte geschaffen.

Es sei gestattet, nur noch auf eine Arbeit hinzuweisen, welche in diesen Streit hineingehört. Unter Helmholtz Protektorat hat Rowland[1]) Beobachtungen angestellt über die

1) Pogg. Annal. Bd. 158. 1876. pag. 487.

elektromagnetische Wirkung elektrischer Konvektion, worunter die Fortführung der Elektrizität durch Bewegung ihrer ponderabeln Träger zu verstehen ist. Dies wurde durch Drehung einer partiell vergoldeten Ebonit(Hartgummi)scheibe, deren Belegung mit Elektrizität versehen war, bewirkt. Es war dies ja in gewisser Weise ein Experiment, wie es geeignet zu sein schien zur Prüfung der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes. Helmholtz sagt in seinem Bericht über diese Versuche, das Resultat derselben stimme mit Webers Gesetz überein, lasse sich aber auch aus den Maxwellschen Anschauungen ableiten. An diese Versuche knüpft Fröhlich[1]) an; er schlägt vor, nicht diese elektrische Konvektion in ihrer magnetelektrischen Wirkung zur Entscheidung zu benutzen, von der er zeigt, daß sie unpraktisch ist, da man die verteilende Wirkung auf die Elektrizität des den Magneten umgebenden Gehäuses nicht kennt, sondern vielmehr die elektrodynamische Wirkung eines um seine Achse rotierenden, mit Elektrizität belegten Kreisringes auf einen in der Nähe befindlichen konstanten galvanischen Strom. Auf diesen Fall wendet Fröhlich die drei in Betracht kommenden Gesetze, welche mit dem Prinzip von der Erhaltung der Energie in Einklang sich befinden, das Claususche, Webersche und Riemannsche Gesetz an, und findet, daß das erstere auf unzulässige Wirkungen führen würde, Webers und Riemanns Gesetz aber nur dann, wenn man den beiden, im galvanischen Strome in entgegengesetzter Richtung sich bewegenden, positiven und negativen Elektrizitätsteilchen verschiedene Geschwindigkeiten geben wollte. Weber sagt aber ausdrücklich, daß sie gleiche Geschwindigkeit haben sollten. Riemanns Gesetz, welches aus analogen Anschauungen, wie das Webersche, entstanden ist, unterscheidet sich von diesem daher auch nicht wesentlich. Es ist z. B. das Potential des Weberschen Gesetzes

$$= -\frac{e e'}{r}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{d r}{d t}\right)^2\right);$$

das Potential des Riemannschen Gesetzes

1) Wiedem. Annal. Bd. 9. 1880. pag. 261.

$$= -\frac{ee'}{r}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left\{\left(\frac{dx}{dt} - \frac{dx'}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dy'}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt} - \frac{dz'}{dt}\right)^2\right\}\right)^{1)}.$$

Ich weise besonders um deswillen auf diese Fröhlichsche Arbeit hin, weil darin die drei Gesetze in höchst übersichtlicher Weise in den verschiedenen Anwendungen nebeneinander gestellt sind. Sollte es übrigens jemals gelingen einen experimentellen Beweis für die unitarische Anschauung zu erbringen, für welche das Clausiussche Gesetz anwendbar ist, so würde man für das Webersche und Riemannsche Gesetz neue Untersuchungen auszuführen haben, da, wie Clausius gezeigt hat[2]), für die unitarische Theorie jene beiden Gesetze zu bisher nicht beobachteten Kräften führen. Zu einer Entscheidung würden auch die von Rieke[3]) vorgeschlagenen verteilenden Wirkungen eines um seine Achse drehbaren geschlossenen konstanten Stromes auf einen in der Nähe befindlichen eventuell mitrotierenden Leiter geeignet sein.

355. Wenn man zur Beurteilung eines physikalischen Gesetzes sich auf den Standpunkt stellt, wie ihn Weber mir in einer mündlichen Unterredung einmal präzisierte, daß man ein physikalisches Gesetz als ein Handwerkszeug zu betrachten habe, welches um so besser sei, je verschiedenartiger es sich mit gleich gutem Erfolge anwenden lasse, so wird man das Webersche Gesetz als eines der besten physikalischen Gesetze ansprechen müssen, da es in der That mit vollem Erfolge auf die verschiedensten Probleme der Elektrizität angewendet wurde. Es sei gestattet, außer dem bereits Gesagten, nur noch einiges hier anzudeuten.

Wohl die wichtigste Anwendung des Weberschen Gesetzes, die von andern Forschern als von ihm selbst gemacht ist, ist die Arbeit Kirchhoffs in den beiden Abhandlungen: „Über die Bewegung der Elektrizität in Drähten“[4]) und „Die Bewegung der Elektrizität in Leitern“.[5]) Die erste Arbeit hat frei-

---

1) Vergleiche Riemann, Schwere, Elektrizität und Magnetismus. pag. 334.

2) Borchardts Journal. Bd. 82. 1876. pag. 87.

3) Wiedem. Annal. Bd. 1. 1877. pag. 124.

4) Pogg. Annal. Bd. 100. 1857. pag. 193.

5) Pogg. Annal. Bd. 102. 1857. pag. 529.

lich mit dem Weberschen Gesetz als solchem nichts zu thun, aber sie hat dieselbe Grundvorstellung für das Wesen des Stromes, nämlich die, daß der Strom aus zwei gleich großen aber entgegengesetzt strömenden elektrischen Massen e und e' bestehe und benutzt außerdem die Webersche Konstante zur Maßbestimmung.

Bezeichnet V die Potentialfunktion der freien Elektrizität in Bezug auf einen Punkt in einem Draht, der von einem willkürlich angenommenen festen Punkt in der Mittellinie des Drahtes eine Querschnittsdistanz s hat und der in Bezug auf den Mittelpunkt des durch ihn gehenden Querschnitts durch die Polarkoordinaten ϱ und ψ bestimmt ist, dann ist die Kraft, mit welcher die freie Elektrizität die Einheit positiver Elektrizität in dem betrachteten Punkte nach der Richtung wachsender s zu bewegen strebt $= -dV/ds$; ebenso groß ist die Kraft auf die Einheit negativer Elektrizität, also die Gesamtkraft $= -2\,dV/ds$. Das ist der elektrostatische Teil der elektromotorischen Kraft. Es muß V nun berechnet werden, das geschieht für den Fall, daß außer in dem sehr langen und sehr dünnen Drahte freie Elektrizität nicht vorhanden ist. Kirchhoff betrachtet einen Teil des Drahtes von der Länge $2\,\varepsilon$ zunächst allein und findet für diese Stelle, wenn e die freie Elektrizitätsmenge des Drahtstückes 1 bedeutet, für dies betrachtete Drahtstück von der Länge $2\,\varepsilon$ und dem Querschnitt α, den Potentialwert $2\,e\,.\log\,(2\,\varepsilon\,/\,\alpha)$, das Gesamtpotential ist dann also:

$$V = 2\,e\,.\log\frac{2\,\varepsilon}{\alpha} + \int\frac{e'\,d\,s'}{r}\,, \tag{1}$$

wo die Integration über den ganzen Draht auszudehnen ist mit Ausschluß des betrachteten Stückes.

Ein zweiter Teil der elektromotorischen Kraft rührt von der Induktion her. Wenn in einem Leiterelement von der Länge l', mit der Stromintensität i', diese letztere sich ändert, so ist die in einem zweiten Leiterelement in der Entfernung r ausgeübte elektromotorische Kraft, bezogen auf die Einheit der Elektrizitätsmenge nach Weber

$$= -\frac{8}{c^2}\,.\,\frac{d\,i'}{d\,t}\,.\,\frac{l'}{r}\,.\,\cos\vartheta\,.\,\cos\vartheta\,.$$

Dieser Wert muß integriert werden über den Strom mit Aus-

nahme des obigen Stückes 2ε, in welchem der betrachtete Punkt liegt; es sei jedoch bemerkt, daß auch 2ε als sehr groß im Verhältnis zu α angenommen ist. In diesem Stücke kann der Strom nicht mehr als in einem Linienelemente konzentriert angesehen werden. Man denke sich in ihm einen Querschnitt durch den Anfangspunkt von ds' gelegt und betrachtet darin einen Punkt mit den Koordinaten ϱ' und ψ', wo die Stromdichtigkeit J' sei, und man erhält für den durch das Drahtstück 2ε induzierten Teil der elektromotorischen Kraft den Wert

$$A = -\frac{16}{c^2}\left[(\log 2\varepsilon - 1)\frac{di}{dt}\right.$$

$$\left. - \int_0^\alpha\int_0^{2\pi}\frac{dJ'}{dt}\varrho'\,d\varrho'\,d\psi'\log\sqrt{\varrho^2+\varrho'^2-2\varrho\varrho'\cos(\psi'-\psi)}\right]$$

und die ganze induzierte elektromotorische Kraft wird

$$B = -\frac{8}{c^2}\cdot\frac{dW}{dt};$$

wenn

$$W = \int i'\frac{ds'}{r}.\cos\vartheta.\cos.\vartheta' + 2i(\log 2\varepsilon - 1)$$

$$-2\int_0^\alpha\int_0^{2\pi}J'.\varrho'.d\varrho'.d\psi'\log\sqrt{\varrho^2+\varrho'^2-2\varrho\varrho'\cos(\psi'-\psi)}$$

ist. Wenn k die Leitungsfähigkeit bedeutet, so ist die Stromdichtigkeit für den Punkt (s, ϱ, ψ) zur Zeit t bestimmt

$$J = -2k\left(\frac{dV}{ds}+\frac{4}{c^2}\frac{dW}{dt}\right),$$

und wenn

$$w = \frac{1}{\pi\alpha^2}\int_0^\alpha\int_0^{2\pi}W\varrho\,d\varrho.d\psi$$

gesetzt wird, ist die Stromstärke

$$(2)\qquad i = -2\pi k\alpha^2\left(\frac{dV}{ds}+\frac{4}{c^2}\frac{dw}{dt}\right).$$

Hat man nun einen Draht vor sich, wo ε unendlich klein gegen die Dimensionen des ganzen Stromkreises gewählt werden kann und doch $\log(2\varepsilon/\alpha)$ eine unendlich große Zahl bleibt, so kann man auch setzen:

$$w = 2\,i \log \frac{2\,\varepsilon}{\alpha} + \int i' \frac{d\,s'}{r} \cos\vartheta \,.\, \cos\vartheta' \,. \tag{3}$$

Endlich läßt sich noch, wenn man annimmt, daß gleiche Quanta positiver und negativer Elektrizität gleichzeitig durch den Querschnitt fließen, oder will man das nicht, wenn man die Stromstärke als das arithmetische Mittel aus den Mengen beider Elektrizitäten, welche in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters in entgegengesetzter Richtung gehen, definiert, die Gleichung aufstellen

$$2\frac{d\,i}{d\,s} = -\frac{d\,e}{d\,t}. \tag{4}$$

In diesen Gleichungen von 1 bis 4 liegt die ganze Theorie, es sind daraus die vier Größen i, e, V, w bestimmt. Kirchhoff geht nun weiter und führt die Theorie aus für den Fall, daß keine Induktionsrollen etc. in dem Stromkreise liegen, d. h. daß nie zwei ein endliches Stromstück begrenzende Punkte unendlich nahe bei einander liegen. Er wendet dieselbe an auf konkrete Beispiele, z. B. auf den Jacobischen Etalon. Wir wollen Kirchhoff darin nicht folgen, sondern uns zu seinem zweiten Aufsatz wenden.

Bezeichnet (x, y, z) einen Punkt eines Leiters, zur Zeit t mögen die Komponenten des Stromes die Stromdichtigkeiten u, v, w haben, wird wieder die elektromotorische Kraft geteilt nach ihrem Ursprung von der freien Elektrizität und der Induktion, so sind, wenn Ω die Potentialfunktion der freien Elektrizität auf (x, y, z) bedeutet, die Komponenten des ersten Teiles der elektromotorischen Kraft

$$-2\frac{\partial\,\Omega}{\partial\,x}, \quad -2\frac{\partial\,\Omega}{\partial\,y}, \quad -2\frac{\partial\,\Omega}{\partial\,z};$$

für einen zweiten Punkt (x', y', z') in der Entfernung r vom ersten, werden die entsprechenden Werte gestrichen angegeben. Setzt man dann

$$U = \iiint \frac{d\,x'\,.\,d\,y'\,.\,d\,z'}{r^3} \,.\, (x-x')\,[u'(x-x') + v'(y-y') + w'(z-z')]$$

$$V = \iiint \frac{d\,x'\,.\,d\,y'\,.\,d\,z'}{r^3} \,.\, (y-y')\,[u'(x-x') + v'(y-y') + w'(z-z')]$$

$$W = \iiint \frac{d\,x'\,.\,d\,y'\,.\,d\,z'}{r^3} \,.\, (z-z')\,[u'(x-x') + v'(y-y') + w\,(z-z')]$$

so sind nach dem Weberschen Gesetz die Komponenten des zweiten Teils der elektromotorischen Kraft ausgedrückt durch:

$$-\frac{8}{c^2}\frac{\partial U}{\partial t}, \quad -\frac{8}{c^2}\frac{\partial V}{\partial t}, \quad -\frac{8}{c^2}\frac{\partial W}{\partial t}.$$

Ist dann k die Leitungsfähigkeit, so erhält man die berühmten Kirchhoffschen Differentialgleichungen, die sehr vielen späteren Arbeiten zu Grunde liegen.

$$1) \quad u = -2k\left(\frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{4}{c^2}\frac{\partial U}{\partial t}\right);$$

$$2) \quad v = -2k\left(\frac{\partial \Omega}{\partial y} + \frac{4}{c^2}\frac{\partial V}{\partial t}\right);$$

$$3) \quad w = -2k\left(\frac{\partial \Omega}{\partial z} + \frac{4}{c^2}\frac{\partial W}{\partial t}\right).$$

Bei einem solchen körperlichen Leiter kann natürlich die freie Elektrizität sich auch im Innern befinden und man hat für einen Punkt im Innern die Gleichung

$$4) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{2}\frac{de}{dt}.$$

Bezeichnet man endlich durch N die nach dem Innern gerichtete Normale auf einem Element der Oberfläche dS, so ist

$$5) \quad u\cos(N,x) + v\cos(N,y) + w\,.\cos(N,z) = -\frac{1}{2}\frac{de}{dt}$$

auf der Oberfläche.

Durch eine nähere Betrachtung ergiebt sich in der That, daß die freie Elektrizität im Innern nur zufällig einmal $= 0$ sein kann, daß im allgemeinen aber auch im Innern freie Elektrizität vorhanden ist. Diese Theorie wendet Kirchhoff an auf den Cylinder von kreisförmigem Querschnitt, d. h. einen Draht, und läßt denselben geschlossen sein oder sehr lang gestreckt, in beiden Fällen ergiebt sich, wenn der Widerstand groß genug ist, daß die Elektrizität sich analog, wie die Wärme, durch den Leiter fortpflanzt, und daß die Induktion keinen merklichen Einfluß ausübt. Ein für Telegraphenkabel sehr wichtiges Resultat, welches von Thomson bei seinen Untersuchungen über unterseeische Telegraphendrähte ohne Beweis als richtig angenommen war.

356. Eine andere Anwendung der Weberschen Betrachtungsweise finden wir von Weber selbst auf den Diamagnetismus gemacht, die sich in dem bisherigen Gange der Darstellung nicht wohl erwähnen ließ. Im Jahre 1846 hatte Faraday[1]) den Diamagnetismus am Wismut und Antimon entdeckt, d. h. statt daß Wismut und Antimon wie Eisen von einem kräftigen Elektromagneten angezogen wurde, zeigte sich bei ihnen vielmehr Abstoßung. Faraday erklärte diese auffallende Erscheinung zunächst durch Erzeugung von Polen in diesen Metallen, aber in entgegengesetzter Richtung wie im Eisen, sodaß während der Nordpol im Eisen Südpol induziert, im Wismut durch denselben Nordpol erzeugt wird. Durch spätere Versuche fand Faraday folgende Metalle sich verhaltend wie Wismut:

Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Cadmium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram.

Er nannte diese Körper diamagnetische im Gegensatz zu den magnetischen. Später gab Faraday[2]) die Ansicht von diamagnetischer Polarität wieder auf, um eine besondere Ansicht aufzustellen, die der vergleichbar ist, welche er über die Elektrisierung durch Influenz hatte.

Jedoch haben deutsche Gelehrte, in erster Linie Reich[3]) und Plücker[4]), die Polarität des Wismut unzweifelhaft nachgewiesen, sodaß dieselbe keinem Zweifel unterliegt. Schon 1847 hatte auch Weber[5]) die Polarität nachgewiesen, es erübrigte nun, daß die Stärke der Polarität gemessen werde. Das that Weber 1852 in seiner Arbeit über Diamagnetismus[6]), indem er Elektrodiamagnete herstellte, in demselben Verhältnis zu Diamagneten stehend, wie Elektromagneten zu Magneten.

Das Schwierige der Aufgabe lag darin, daß während beim

---

1) Pogg. Annal. Bd. 67. pag. 440. Bd. 69. pag. 289 u. 309. Bd. 70. pag. 43.

2) Pogg. Annal. Ergänzb. III. 1852. pag. 73.

3) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 60.

4) Pogg. Annal. Bd. 72. pag. 343. Bd. 73. pag. 613. Bd. 74. pag. 321. Bd. 75. pag. 177 u. 413.

5) Pogg. Annal. Bd. 73. 1848. pag. 241.

6) Abhandl. der k. Sächs. Gesellsch. der Wissenschaft. Bd. I. 1852. pag. 485.

Elektromagneten die Fernewirkung des erzeugten Magneten die des erzeugenden Stromes bei weitem übertrifft, beim Elektrodiamagneten umgekehrt die Wirkung des erzeugten Diamagneten erheblich geringer ist, wie die des erzeugenden Stromes. Um nun doch die Kraft des Elektrodiamagneten meßbar zu machen, wählte Weber folgende Einrichtung. Rechts und links von dem Südende einer an einem Kokonfaden hängenden Nadel, in gleicher aber kleiner Entfernung von derselben, waren zwei 190^{mm} lange, vertikal gerichtete Induktionsspiralen aufgestellt, sodaß die Horizontalebene der Nadel die Rollen gerade halbierte, dadurch wurde, wenn der Strom die beiden Spiralen in entgegengesetzter Richtung durchlief, die Wirkung des Stromes auf die Nadel kompensiert; da diese Kompensation durch die symmetrische Gruppierung noch nicht vollständig zu erreichen war, wurde sie durch eine in der Richtung der Nadel befindliche, verschiebbare Multiplikatorrolle vollständig hergestellt. In die Spiralen konnten an einem Stativ hängend zwei gleiche Wismutstäbe gesenkt werden, die durch den Strom in den Spiralen in Diamagnete mit entgegengesetzt liegenden Polen verwandelt wurden. Die Länge der Induktionsrollen gestattete eine Verschiebung der Diamagnete so, daß die unteren oder oberen Enden in der Horizontalebene der Nadel lagen, ohne daß die Stabenden sich den Enden der Spirale zu sehr näherten. Auf diese Weise stellte Weber die Wirkung der Diamagnete rein ohne Störung durch die Ströme her.

Im Jahre 1856 hat er die Einrichtung abgeändert und den ganzen Apparat zu einem festen Diamagnetometer umgestaltet, welcher sich wesentlich von dem ersten nur dadurch unterscheidet, daß die Nadel nicht so zwischen den Spiralen schwebt, daß sie in der Ruhelage senkrecht steht auf der Verbindungslinie der Mittelpunkte der Drahtrollen, sondern daß sie dieser Linie parallel hängt. Selbstverständlich wurde bei beiden Apparaten die Nadel durch einen festen Magneten astatisch gemacht und mit Spiegel und Fernrohr die Ablenkung abgelesen.

Durch Vergleichung mit der Wirkung eines Elektromagneten ergab sich, daß der Diamagnetismus 1 470 000 mal kleiner ist, wie der Magnetismus des Eisens.

Auch zur Erzeugung von Induktionsströmen verwandte

Weber den Diamagnetismus, es ergab sich bei seinen Messungen, daß die Richtung der diamagnetisch induzierten Ströme der Richtung der magnetisch induzierten entgegengesetzt war, und daß die Intensität der durch die verglichenen Stäbe diamagnetisch induzierten Ströme zu der Intensität der magnetisch induzierten Ströme sich verhielt wie 1 : 1064,5, oder, da der Wismutstab 339 300 ^{mgr}, der Eisenstab nur 790,86 ^{mgr} wog, würde für gleiche Gewichte die Intensität des diamagnetisch induzierten Stromes zu der des magnetisch induzierten sich verhalten wie 1 : 456 700, oder nach genauen Korrektionen wie 1 : 1 596 000.[1])

Nach diesem Nachweis entsteht nun die Frage, wie ist die diamagnetische Erscheinung zu erklären? Weber[2]) sagt: Vier innere Ursachen sind möglich, die durch eine ideale Verteilung des Magnetismus erklärbaren Wirkungen hervorzurufen.

1) Die innere Ursache kann gefunden werden in der Existenz zweier magnetischer Fluida, welche unabhängig von ihrem ponderablen Träger beweglich sind;

2) sie kann liegen in der Existenz zweier magnetischer Fluida, welche nur mit den Molekülen drehbar sind;

3) sie kann in der Existenz beharrlicher, von zwei elektrischen Fluidis gebildeter Molekularströme enthalten sein, welche mit den Molekülen drehbar sind;

4) sie kann in der Existenz zweier beweglicher elektrischer Fluida enthalten sein, welche in Molekularströmung versetzt werden können.

Der erste dieser vier Fälle giebt die Theorie des Magnetismus von Coulomb und Poisson, der dritte giebt die Theorie Ampères, der zweite läßt sich nach Ampère auf den dritten zurückführen. Es bleibt für den Diamagnetismus also nur die vierte Möglichkeit übrig und die führt thatsächlich zum Ziel.

Damit die als vorhanden vorausgesetzten elektrischen Fluida nun Molekularströme bilden, ist es nötig anzunehmen, daß um die einzelnen Moleküle herum in sich zurücklaufende Bahnen existieren, in welchen die elektrischen Fluida ohne Widerstand beweglich sind. Da nun zu- oder abnehmende Intensität

---

1) l. c. pag. 577 Note.
2) l. c. pag. 541.

[illegible] Molekularströme [illegible]

[illegible] hätte, wird [illegible] der anderen Seite [illegible] Ampèresche [illegible] elektri- [illegible] zu- [illegible] einer Hypothese? [illegible] Zuhilfenahme [illegible] allgemein gül- [illegible] beides erfüllt [illegible] sie sogar den da- [illegible] des Mediums, in welchem [illegible] ebenfalls sofort [illegible] Sätze, daß magnetische Körper [illegible] magnetischen Thätigkeit von Örtern schwächerer magnetischer Wirkung zu Örtern stärkerer magnetischer Wirkung, und umgekehrt diamagnetische Körper sich von Örtern stärkerer zu denen schwächerer magnetischer Wirkung begeben.

Die weitere Behandlung der diamagnetischen Erscheinungen liegt außerhalb der Grenzen dieses Buches, ich erwähne nur noch, daß die Theorieen anderer Forscher, z. B. Becquerels, de la Rives, v. Feilitzschs, Faradays, teilweise direkt mit den Erscheinungen in Widerspruch geraten, wie z. B. für die Theorie v. Feilitzschs nachgewiesen ist durch v. Quintus-Icilius 1854, teilweise, wie die de la Rives, dadurch, daß sie die Molekularstromkanäle vermeiden wollen, gezwungen werden, den Molekülen solche abenteuerliche Eigenschaften beizulegen, die schließlich doch nur die Weberschen Ströme wiedergeben können, sodaß Webers direkte Annahme der Strombahnen dagegen klar und unverfänglich erscheint.[1])

Vierzehntes Kapitel.

Das Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

357. Daß ich als Grenze der Geschichte der Elektrizität das Jahr 1847 angegeben hatte, war aus dem Grunde geschehen, weil in dem Jahre die Helmholtzsche Arbeit über die Erhaltung der Kraft erschienen ist. Ich werde dafür vielleicht von verschiedenen Seiten angegriffen werden, da das Gesetz der Erhaltung der Kraft 1842 entdeckt ist und auch nicht von Helmholtz, allein die Lehre von der Elektrizität hat mit diesen ersten Arbeiten so wenig, um nicht zu sagen gar nichts, mit der Helmholtzschen aber soviel zu thun, daß ein Kundiger mir darin beistimmen wird, daß 1847 für die Elektrizitätslehre das Geburtsjahr des Gesetzes ist. Es sei gestattet, einiges über dies Gesetz anzufügen.

Nachdem 1798 der Graf Rumford durch seine bekannten Versuche über die Erzeugung von Wärme durch Reibung den bis dahin herrschenden Wärmestoff sehr bedenklich gemacht hatte, (wir können leider nicht sagen vom Throne gestoßen), war die Marschroute gewissermaßen vorgezeichnet, auf welcher das Äquivalent von Arbeit und Wärme gefunden werden konnte. Trotzdem haben wir während 40 Jahren eine fast vollständige

1) Vergleiche Wiedemanns Urteil in seinem Lehrbuch, Band II. 1. Abteil. 1. Auflage. 1863. pag. 535.

Ruhepause in diesen Untersuchungen zu verzeichnen, und ein Arzt und ein Physiker waren es, die, unabhängig voneinander, sich der Frage nach dem Wesen der Wärme zuerst wieder bemächtigten. Der Arzt, unser Landsmann, der bedauernswerte R. Mayer in Heilbronn, der es nur mit Mühe erreichen konnte, daß sein sehr gekürzter, fast zur Unverständlichkeit zusammengedrückter Aufsatz: „Über die Kräfte der unbelebten Natur“[1]) in Wöhlers und Liebigs Annalen veröffentlicht wurde, sprach zuerst den Satz von der Äquivalenz von Arbeit und Wärme aus. In einer folgenden Abhandlung 1845: „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel“ sucht er dies Prinzip allgemein durchzuführen. Um dieselbe Zeit arbeitete Joule[2]) in England an messenden Versuchen und bestimmte die durch Reibung gewonnene Wärme, freilich anfänglich sehr ungenau, aber in der Folge hat er mit der größten Schärfe das mechanische Äquivalent der Wärme gegeben.

358. Unabhängig von beiden hat Helmholtz[3]) in seinem Bericht für die Fortschritte der Physik vom Jahre 1845 den Gedanken von Äquivalenz zwischen Wärme und Arbeit ausgesprochen, allein erst 1847 gewannen diese Anschauungen bei ihm solche Klarheit, daß er das Prinzip über die gesammte Naturwissenschaft auszudehnen wagte.[4]) Wenn es sich also auch nicht um eine Priorität handelt, so bleibt Helmholtz gegen alle Mitbewerber immer das Verdienst, das Prinzip, mathematisch formuliert, über die gesammte Physik ausgedehnt zu haben. Sehr bezeichnend für diese Bedeutung ist es, daß der Helmholtzschen Arbeit die Aufnahme in Pogg. Annal. ebenfalls verweigert wurde, wie einst Mayer.

Das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kraft für mechanische Probleme ist ausgedrückt in der Gleichung

$$\tfrac{1}{2} m v^2 = m \,.\, g \,.\, h,$$

wenn m die Masse des Körpers ist, der unter dem Einfluß der

1) Annal. d. Chemie u. Pharmazie. Bd. 42. 1842. pag. 233.

2) Phil. Mag. S. III. B. 27. 1845. pag. 205, und Pogg. Annal. B. 73. pag. 479.

3) Helmholtz, wissenschaftliche Abhandl. I. 1882. pag. 1.

4) Helmholtz, wissenschaftliche Abhandl. I. 1882. pag. 12.

Schwerkraft, deren Intensität g ist, von der Höhe h herabfällt und es sagt aus, daß der Körper beim Herabfallen eine so große Geschwindigkeit erlangt, daß deren Quadrat multipliziert in die halbe Masse, dieselbe Arbeitsgröße repräsentiert, welche nötig ist, um den Körper wieder auf die frühere Höhe zu heben. Dies Prinzip gilt allgemein, wenn die wirklichen Kräfte sich in Punktkräfte auflösen lassen, d. h. in solche, welche an materiellen Punkten angreifen, in die Richtung der Verbindungslinie der Punkte fallen und in ihrer Intensität nur von der Entfernung abhängen. Diese einfachen Kräfte heißen Centralkräfte.

Bezeichnet φ die Intensität der Kraft, welche in der Richtung von r wirkt, so sind die Komponenten nach den Koordinatenachsen ausgedrückt in $X = -\frac{x}{r}\varphi$; $Y = -\frac{y}{r}\varphi$; $Z = -\frac{z}{r}\varphi$. Ist q dann die Geschwindigkeit, so ergiebt sich

$$\tfrac{1}{2} m\, d(q^2) = -\varphi\, dr,$$

oder bezeichnen Q und R, q und r die Geschwindigkeiten und die zugehörigen Entfernungen, so ist

$$\tfrac{1}{2} m\, Q^2 - \tfrac{1}{2} m\, q^2 = \int_r^R \varphi\, d\, r,$$

bezeichnet man nun die Kräfte, welche noch zu wirken streben, aber noch nicht Bewegung hervorgerufen haben, als Spannkräfte, so repräsentiert $\int_r^R \varphi\, d\, r$ die Summe aller Spannkräfte. Dehnt man die Gleichung aus über ein System von Punkten, so folgt:

$$\Sigma \tfrac{1}{2} m_i\, Q_i^2 - \Sigma \tfrac{1}{2} m_i\, q_i^2 = -\Sigma \int_{r_{i\varkappa}}^{R_{i\varkappa}} \varphi_{i\varkappa}\, d\, r_{i\varkappa}.$$

Das giebt in Worten das Gesetz der Erhaltung der Kraft: die Summe der vorhandenen lebendigen Kräfte und Spannkräfte ist konstant. Uns interessiert hier die Anwendung auf die Elektrizität. In der Elektrostatik ist nach Coulombs Gesetz $\varphi = -\frac{e e'}{r^2}$, also der Gewinn an lebendiger Kraft beim Übergang der elektrischen Teilchen e, e' aus der Entfernung R in die Entfernung r ist $-\int_R^r \varphi\, dr = \frac{e \cdot e'}{R} - \frac{e \cdot e'}{r}$, d. h. die Zu-

nahme an lebendiger Kraft ist gleich der Differenz der Potentiale am Ende und Anfang der Bewegung. Als geleistete Arbeit für einen Körper ergiebt sich die Hälfte des Potentials auf sich selbst (siehe den Abschnitt Potentialtheorie). Bei dem Galvanismus ist nur die schwierig die Kontaktkraft, sie würde, allein betrachtet, dem Gesetze widersprechen, nimmt man die chemische Aktion hinzu, so thut sie es nicht. Besonders gut läßt sich das Gesetz auf die Wärmewirkung anwenden, es ist die Gesamtwärme $w = J^2 w t$ und wenn n Elemente jedes mit der elektromotorischen Kraft A vorhanden sind, $\Theta = J . n . A . t$. Desgleichen ergiebt sich die Anwendung auch auf die chemischen Wirkungen, auf die Thermoelektrizität und endlich auf den Elektromagnetismus. Ist A wieder die elektromotorische Kraft, J die Intensität des Stromes, w der Widerstand im Leiter, V das Potential des Magneten auf den vom Strom 1 durchflossenen Leiter, so sind die in dem Strom verbrauchten Spannkräfte $= A J dt$ in Wärmeeinheiten, oder wenn a das mechanische Wärmeäquivalent ist, $a A J dt$, dies muß gleich sein der vom Magneten gewonnenen lebendigen Kraft $= J dV$ (dt) vermehrt um die in der Strombahn erzeugte lebendige Kraft $= a J^2 w dt$, d. h.

$$a A J dt = a J^2 w dt - J \frac{dV}{dt} . dt, \text{ also } J = \frac{A - \frac{1}{a}\frac{dV}{dt}}{w}.$$

359. Die vollständige Durchführung dieses Prinzips blieb späterer Zeit vorbehalten. Im Laufe der Entwickelung hat sich dann das Gesetz von der Erhaltung der Kraft umgestaltet zum Gesetz von der Erhaltung der Energie,[1] daß nämlich, wenn ein System von Punkten unter Einwirkung äußerer Kräfte bewegt wird, für jedes Zeitelement

$$d(T - U - U' - V) = dS$$

sei, wenn T die lebendige Kraft, U' das Potential des Systems im mechanischen Sinne, U das elektrostatische und V das elektrodynamische Potential, S aber die verbrauchte Arbeit ist, oder der Zuwachs des Systems an **Energie** ist gleich der verbrauchten Arbeit während ein und desselben Zeitelementes. Dies Energie-

1) Neumann in d. Berichten der k. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1871, pag. [illegible].

gesetz ist zunächst der allgemeinste Ausdruck des Gedankens, der dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft zu Grunde liegt.

360. Eine Erweiterung dieses Energieprinzips hat Weber gemacht.[1]) Er geht dabei von folgender Überlegung aus: Bei allen Veränderungen der Körperwelt bleiben die Massen der Körper stets unverändert und auch die lebendigen Kräfte würden nach dem Trägheitsgesetze konstant sein ohne Wechselwirkung. Diese letztere ist also die Ursache aller Veränderungen lebendiger Kräfte. Man kann das auch umkehren und sagen: Veränderungen der lebendigen Kräfte geben Veränderungen der Wechselwirkung, sodaß die Wechselwirkung der Körper das Äquivalent für verlorene lebendige Kraft bedeutet, und lebendige Kraft das Äquivalent für verlorene Wechselwirkung.

Nennt man nun die Größe der Wechselwirkung zweier Teilchen ihre Wechselwirkungsenergie, und die Größe der relativen lebendigen Kraft zweier Teilchen ihre Bewegungsenergie, so kann man danach die Hypothese aussprechen, daß diese Energiegrößen homogen sind, sodaß die Zunahme der einen eine ebensogroße Abnahme der anderen bedinge, d. h. daß ihre Summe konstant sei. Bezeichnet man also mit Q die relative lebendige Kraft zweier Teilchen, mit P die Energie ihrer Wechselwirkung, so würde hiernach

$$P + Q = a$$

zu setzen sein, wo a eine Konstante wäre für je ein Teilchenpaar.

Daß dies Prinzip, welches Weber das der Erhaltung der Energie nennt, mit dem allgemeinen Energieprinzip stimmt, zeigt Weber, und der Zweck, welchen er durch diese allgemeinere Fassung erreichen will, ist: ein Prinzip zu gewinnen, wodurch bestimmt werde, was in der Wechselwirkung der Körper durch ihre Bewegung eigentlich verändert werde. Weber führt die Energie der Wechselwirkung dann auf absolute Maße zurück, was bei der Bewegungsenergie ja sehr einfach ist, und findet dabei als Grenze für die Gültigkeit des Prinzips, daß Q kleiner sein muß als a, was für alle bisher bekannten Bewegungs-

1) Wiedem. Annal. Bd. 4. 1878. pag. 348.

erscheinungen zutrifft. Mittels dieses Prinzips leitet Weber dann das elektrodynamische Potential $V = \frac{e \cdot e'}{r}\left(1 - \frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2\right)$ aus dem elektrostatischen $V' = \frac{e \cdot e'}{r}$ ab.

Wir sehen, daß das Gesetz von der Erhaltung der Kraft wesentlicher Erweiterungen fähig gewesen ist. Dabei mag noch bemerkt werden, daß Helmholtz in dem Energieprinzipe die Annahme macht, daß der Teil der Energiefunktion, welcher von der Geschwindigkeit abhängt (der kinetische Teil), stets positiv sei. Ob diese Erweiterung überall zulässig ist, ist bisher noch nicht untersucht. Jedenfalls können wir erwarten, daß diese Prinzipien noch weiterer Ausbildung fähig sind, und daß an ihre Stelle noch andere treten können. Von jedem neuen Prinzip wird aber zunächst erst immer nachgewiesen werden müssen, daß es zum mindesten nicht im Widerspruch stehe mit dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft oder dem gewöhnlichen Energieprinzip, welche sich als allgemein giltig dokumentiert haben.

VI. Technische Anwendungen der Elektrizität.

Erstes Kapitel.

Die elektrische Beleuchtung.

A. Bogenlicht.

361. Während wir bisher dem Gange der Entwickelung der wissenschaftlichen Forschung ohne Abschweifungen gefolgt sind, sollen die Gebiete der Elektrizität, welche mit der Technik in enge Berührung treten, welche also recht eigentlich praktisch sind, in besonderen Kapiteln behandelt werden. Zunächst wenden wir uns der Erzeugung des Lichtes durch Elektrizität zu.

Schon im Laufe der früheren Darstellung habe ich darauf aufmerksam gemacht, daß das erste elektrische Licht der an der Elektrisiermaschine gesehene Entladungsfunke war, und daß dieser „elektrische Blitz“ schon damals vielfach enthusiastische Hoffnungen rege machte auf praktische Verwendung in Be-

leuchtungszwecken, zumal man ja an einer kräftigen Maschine durch gegenübergestellte Konduktorkugeln eine sehr schnelle Aufeinanderfolge, fast eine kontinuierliche Entladung in Funken erhalten konnte.

Als man dann von der Reibungselektrizität zu der Berührungselektrizität fortgeschritten war und in der Voltaschen Säule eine Quelle starker physiologischer Wirkungen der Elektrizität erkannt hatte, war neben dem chemischen Experiment der Wasserzersetzung die Erzeugung kräftiger Funken beim Schließen und Öffnen der Säule oder der Elemente ein Erkennungszeichen für die größere oder geringere Kraft der Säule. Nachdem schon Ritter den Unterschied zwischen Schließungs- und Öffnungsfunken beobachtet hatte und Pfaff durch genaues Studium des letzteren die Überzeugung gewonnen hatte, daß der Funke nichts anderes sei, als glühend gewordene, abgerissene Metallteilchen, war es ein Leichtes, von den schwer glühenden und schlecht zerreißbaren Metallstiften zu Kohlenstiften überzugehen. Ja schon Ritter hatte einseitig einen Kohlenstift zum Schließen der Ketten angewandt und dadurch stärkere Funken erhalten. Man sprach sogar schon seit Franklin vom „elektrischen Licht“ und es giebt aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts eine ganze Anzahl Arbeiten unter diesem Titel.

362. Davy blieb es, wie die Lehrbücher fast ausnahmslos behaupten, vorbehalten, die Entdeckung zu machen, richtiger sollte es heißen, die Entdeckung in weitesten Kreisen bekannt zu machen, welche als Fundamentalversuch von fast allen Autoren, welche über elektrisches Licht geschrieben haben, angeführt wird, und die in den gewöhnlichen Darstellungen so unvermittelt einen überraschenden Eindruck hervorzurufen sehr geeignet ist, obgleich sie uns nur als ein notwendiges Glied, bedingt durch die früheren Arbeiten, nur als Schlußstein des Fundaments erscheint, auf welchem die Technik weiterbauen konnte. Es war offenbar nicht schwierig, statt einer Kohle, welche von Ritter, wie erwähnt, bereits gebraucht war, zur Erzeugung von kräftigen Lichterscheinungen, nachdem die Zugehörigkeit der Kohle zu den guten Leitern schon von Volta erkannt war, nun zwei Kohlenspitzen zu gebrauchen, und statt die Funken in

der Luft zu erzeugen, dieselben im luftverdünnten Raume entstehen zu lassen, nachdem die hohe Leitungsfähigkeit der feuchten Luft schon von Coulomb nachgewiesen und von Erman die absolute Undurchdringlichkeit des völlig luftleeren Raumes für Elektrizität bewiesen war; und endlich statt 100 Elementen, mit welchen Ritter arbeitete, 2000 anzuwenden.

Diese drei Verbesserungen aber waren es, durch welche Davy zum Erfinder des „Davyschen Lichtbogens“ gestempelt wurde, der besser der „Voltasche“ heißen sollte. Der Lichtbogen Davys unterscheidet sich nämlich von den früheren elektrischen Lichterzeugungen nur durch die Kontinuität und Stärke. In der That hat Davy die zwei Kohlen zur Erzeugung nicht einmal zuerst angewendet. Auf der Versammlung der „allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für Naturwissenschaften“ vom 25. bis 28. Juli 1820 hat De la Rive am dritten Tage vor der versammelten Korona zwischen zwei stumpfen Kohlenspitzen, die er in den Voltaschen Kreis einfügte, ein so kräftiges dauerndes Licht hergestellt, daß die Augen der Zuschauer davon geblendet wurden. Auch ließ er das Licht sowohl in Luft, wie im luftleeren Raume entstehen, um zu zeigen, „daß es nicht durch Verbrennen erzeugt sei“. Davys Experiment findet sich erst in Phil. Transactions von 1821. Es ist also nicht einmal zu konstatieren, ob er den Versuch selbständig gefunden hat, da der Bericht über jene Versammlung bereits im Augustheft der Bibliot. universelle von 1820 gedruckt ist,[1]) und von da in viele Journale überging. De la Rive wandte nur 380 Elemente an aus Kupfer, Zink und verdünnter Schwefelsäure.[2])

Davy verband die beiden Enden zweier sich horizontal gegenüberstehender Kohlenspitzen mit den beiden Polen einer aus 2000 Zink-Kupfer-Kochsalzlösung-Elementen bestehenden Kette. Näherte er nun die beiden Spitzen und zog sie nachher langsam auseinander, so bildete sich, wenn die Trennung nicht zu weit ging, ein kontinuierlicher Lichtbogen, der noch schöner und gleichmäßiger wurde, als er die beiden Spitzen unter dem Recipienten der Luftpumpe einander gegenüberstehen ließ.

1) Gilberts Annal. Bd. 67. pag. 91, wonach ich berichte.
2) Vergleiche pag. 221 dieses Buches.

Diese Beobachtung machte er 1821 (nicht 1813, wie in vielen Büchern steht). Es erklärte sich ihm die Entstehung dieses Lichtbogens sehr einfach, als er die Enden der Kohle untersuchte und nun fand, daß das positive Ende (d. h. die Spitze, durch welche die + Elektrizität zum gegenüberstehenden Kohlenstift ging) ausgehöhlt erschien, während die — Spitze auf den rückwärts gelegenen Teilen Anhäufung von Schutt und Schlacken aufwies. Es hatte also ein Transport kleiner Kohlenpartikeln vom positiven Pol zum negativen stattgefunden. Auf demselben sind die kleinen Teilchen glühend geworden und wenn sie in Luft sich befinden, werden sie verbrennen, befinden sie sich aber, wie bei dem zweiten Davyschen Experiment, im luftleeren Raume, so wird die glühende Kohle keinen Sauerstoff zu ihrer Verbindung zu Kohlensäure antreffen, es wird also eine Anhäufung auf dem negativen Ende entstehen, und vor allem werden die in der Kohle enthaltenen Metalle und Erden, zu Schlacken geschmolzen, in kleinen Kügelchen und Haufen auf der negativen Spitze sich niederlassen. Es findet nun allerdings auch ein geringer Transport von Kohlenteilchen vom — zum + Pol hin statt, welcher zuerst von van Breda[1]) im luftleeren Raum gefunden wurde, der ist aber so gering, daß man ihn mit bloßem Auge kaum konstatieren kann und nur dem bewaffneten ist er erkennbar. So faßte man den Lichtbogen als ein aus unzähligen kleinen, durch das fortwährende Überfliegen gebildeten, feinen Kohlenfäden bestehendes Bündel auf, welches gemäß der Pfaffschen Entdeckung, daß je kleiner der Querschnitt eines Leiters, desto größer sein Widerstand und desto größer die Erwärmung sei, in seinen einzelnen Teilen glühend geworden, nun die Erscheinung eines Lichtbogens hervorrief. Der erste, der diese Ansicht aussprach, war W. Th. Casselmann 1843, ein Realschullehrer in Wiesbaden.

Unzählige Male wurde dies Experiment wiederholt, aber es machte damals durchaus nicht das Aufsehen, welches wir erwarten müßten, wenn wir diese Entdeckung als eine unvermittelte, zufällige uns erzählt sehen, dasselbe machte nicht entfernt soviel Eindruck, wie die im selbigen Jahre gemachte

---

1) v. Breda in Pogg. Annal. Bd. 70. 1847. pag. 326.

[illegible] natürlich, denn
[illegible] unter einigen Ab-
[illegible] Erscheinung der
[illegible] In der That
[illegible] technische Aus-
[illegible] hat es die Be-
[illegible] erreicht.

[illegible] Experiments mussten zwei
[illegible] gehoben [illegible] konnte
[illegible] werden. Einmal
[illegible] verbunden
[illegible] chemischen Un-
[illegible] zerstört
[illegible] die gerade
[illegible] einige Bestand-
[illegible] Stärke und Kon-
[illegible] Zink-Kupfer-Kochsalz-
[illegible] zur Zahl der
[illegible] Strom lieferten.
[illegible] für kurze Zeit
[illegible] Experiment:
[illegible] die Elemente
[illegible] Minimum der
[illegible] Davys
[illegible] Experi-
[illegible] beschränkt.

[illegible] Element 1838.
[illegible] das Mittel für
[illegible] das Interesse an
[illegible] der That wandte
[illegible] Frage nach der Verbesse-
[illegible] statt der
[illegible] Rückständen in Gas-
[illegible] Bunsen mit großem
[illegible] gebracht wurde. Allein obgleich
[illegible] zu Paris zu großem
[illegible] hatte die Retortenkohle
[illegible] sie war wohl widerstandsfähiger.

wie Holzkohle, allein die Unregelmäßigkeiten beim Abbrennen waren bedeutend größer, da dieselbe reich ist an Schlacken und erdigen Bestandteilen. Dies zuerst nachgewiesen und richtig abgeleitet zu haben, ist das Verdienst von Le Roux.[1])

Es kann uns deswegen nicht Wunder nehmen, daß schon zwei Jahre nach Leon Foucault 1846 der Übergang zu besonders für diese Zwecke präparierter Kohle gemacht wurde von Staite, er gab im wesentlichen damals schon das Prinzip an, wonach noch heute die Kohlen hergestellt werden. Staite mahlte Coaks ganz fein zu Pulver, mischte dasselbe mit ein wenig Syrup, knetete den Teig und komprimierte die Masse in Formen, die so erhaltene Kohle wurde glühend gemacht und in einer konzentrierten Zuckerlösung abgekühlt, um dann von neuem einer intensiven Glühhitze ausgesetzt zu werden. Später wurde noch gemahlene Kohle zugesetzt.

Es wäre ein fast wörtliches Wiederholen nötig, wenn ich alle folgenden Versuche zur Herstellung geeigneter Kohle ebenso beschreiben wollte, wie diesen ersten. Alle paar Jahr treten neue Patente auf, die prinzipiell nichts Neues bieten, nur in der prozentualen Mischung von Coaks und Zucker, oder Teer, oder in Ersetzung der Coaks durch Holzkohle, oder endlich in der Zubereitungsmethode kleinere aber unwesentliche Abänderungen zeigen. Nur die neuesten Kohlenprodukte mögen noch erwähnt werden. Archereau erzeugte 1877 seine Kohle aus gemahlener Retortenkohle, die mit Steinkohle und Magnesia gemischt war. Carré ließ sich am 15. Januar 1876 ein Patent geben auf eine Kohle, die aus 15 Teilen fein gemahlenem Coaks, 5 Teilen kalziniertem Ofenruß, 7—8 Teilen Syrup, welcher besonders hergestellt war aus 30 Teilen Rohrzucker und 12 Teilen Gummi, bestand. Diese Mischung, gut zerrieben, wird mit 1—3 Teilen Wasser zu einem Teig geknetet und analog behandelt wie oben bei Staite beschrieben wurde. Dies Verfahren liefert die homogensten, geradesten und härtesten Stäbe, welche sehr viel angewendet sich gut bewährt haben.

1) Vergl. hierfür und für das folgende: Die elektrische Beleuchtung von Hippolyte Fontaine, deutsch von Roß. 2. Auflage. Wien 1880. pag. 73 ff.

[illegible] 1878 [illegible]

[illegible] Kohlen[illegible] [illegible] wird [illegible] Beimengung [illegible] zu einem knetbaren Teig [illegible]. Vor allen [illegible] bei gleicher [illegible] ist nicht [illegible] Pech[illegible]kohl[illegible] wenig geeignet.

[illegible] Apparat [illegible] Kohlenspitzen [illegible] bewerkstelligte. Davy [illegible] Kohlenspitzen ein[illegible] konnte [illegible] verbrennenden [illegible] wohl [illegible] bleibt. Aus dem [illegible] geht hervor, [illegible] Strom stark genug [illegible] Kohlenteilchen zu bewerk[illegible] solchen Bogen [illegible] schwächerer. Es [illegible] direkt proportional der [illegible] Verhältnis vielmehr ein [illegible] Wachsen und bei ganz starken Strömen [illegible] eine Grenze der Lichtbogenlänge, über welche man noch nicht hinausgekommen ist. Die hierbei erhaltenen Resultate rühren fast ausnahmslos von Depretz her, welcher seit 1850 die ausführlichsten Versuche über die Lichtbogen anstellte. Das Wichtigste hieraus mag hier folgen.

Die Länge des Bogens wächst schneller als die Zahl der Elemente und zwar stärker für die kleinen als für die großen

Bogen. Der Bogen von 100 Elementen ist etwa viermal so lang wie der von 50, der Bogen von 200 dreimal so lang wie der von 100, der von 600 Elementen $7^1/_2$ mal so lang wie von 100 Elementen. Schaltet man die Elemente nebeneinander ein, so ist die Verstärkung des Stromes, also auch die Verlängerung des Bogens, bei wachsender Elementenzahl geringer wie hintereinander, ein Beweis, daß der Widerstand, den der Strom in dem Lichtbogen erfährt, sehr groß ist im Verhältnis zu dem Widerstand der Elemente.[1]) Eine zunächst auffallende Erscheinung ist, daß der Lichtbogen länger ist, wenn der positive Pol oben, der negative unten steht, als wenn die Anordnung umgekehrt ist. Diese wird aber leicht verständlich, wenn man das über die Entstehung des Bogens Gesagte beachtet, da ja wesentlich vom positiven Pol die Kohlenteilchen zum negativen hingeschleudert werden, so wird dies leichter, also mit weniger Kraftaufwand, also bei gleicher Kraft auf größere Entfernung hin geschehen, wenn die Anziehungskraft der Erde in demselben Sinne, als wenn sie entgegengesetzt wirkt. Bei horizontaler Stellung der Elektroden endlich ist die Länge stets kleiner als in vertikaler, weil hier die Anziehungskraft der Erde auf beide Teilchen, sowohl die vom positiven wie vom negativen Pol fortgeschleuderten, störend einwirkt. Alle diese Angaben beziehen sich natürlich auf das Maximum der erreichbaren Länge bei gegebener Elementenzahl und auf die Methode, daß die sich berührenden Kohlenstifte langsam voneinander entfernt werden, sodaß wir den Bogen als eine konstante Folge von Öffnungsfunken ansehen können.

Da nun bei gegebener elektromotorischer Kraft die Länge des Bogens eine bestimmte Grenze hat, ist es notwendig, stets unter dieser Grenze zu bleiben, und es ist daher Aufgabe der Technik Apparate zu finden, welche das selbstthätig besorgen. Auch hier können wir natürlich nicht alle Apparate aufführen, nur die, welche gewissermaßen die Epochen in der Entwickelung bis zur heutigen Vollendung markieren, mögen hier Platz finden. Abarten der Apparate, welche sich von andern nur durch mechanische, nicht ins Gebiet der Elektrizität fallende Unterschiede trennen, werde ich also übergehen.

---

1) Vergl. das hierüber Gesagte auf pag. 254 f.

365. Natürlich verfiel man zuerst darauf, das Nachschieben der Kohlen durch Federn zu regulieren. 1846 trat William Edward Staite in London mit einem derartigen Regulator auf. Zwei unter einem Winkel von etwa 30° geneigte, nach unten gerichtete Kohlenspitzen stoßen gegeneinander auf einem nicht leitenden, der hohen Temperatur widerstehenden Blocke. Die Kohlen sitzen in metallenen Hülsen und werden von hinter ihnen liegenden Federn immer gegen den Block gedrückt, sodaß eine konstante Distanz der beiden Kohlenstifte erreicht wird. Jedoch zeigte sich bald, daß die Abnutzung der Kohlenstifte eine ungleichmäßige war, daß nämlich der positive Stift etwa zweimal so schnell abbrannte, wie der negative. Daher war das Nachschieben der beiden Federn ein ungleichmäßiges, überhaupt erwies sich ein Federnregulator als nicht passend, da die Kohle zu Anfang stärker gedrückt wurde wie zum Schluß. Dauernd konnten also diese Regulatoren sich nicht behaupten.

Schon ein Jahr früher hatte ein Landsmann Staites, Th. Wright, zwei kreisförmige Scheiben angewendet, welche in einem Abstande, der zur Erzeugung des Lichtbogens dienlich war, gehalten wurden, dieselben rotierten durch ein Uhrwerk, sodaß sie nahezu gleichmäßig abbrannten, nach jeder Umdrehung wurden die Scheiben durch einen selbstthätigen Mechanismus um soviel einander genähert, als durch das Verbrennen abgenutzt war, ein weiterer Mechanismus besorgte gleichzeitig eine etwas seitliche Verschiebung, sodaß alle Teile der Scheiben abgenutzt wurden. Aus demselben Grunde wie der vorige ist auch dieser Apparat nicht brauchbar, da die eine Scheibe stärker abgenutzt wird wie die andere, und auch das Abbrennen an jeder Scheibe durchaus nicht gleichmäßig erfolgt, sodaß Störungen unvermeidlich sind.

Alle solche Regulatoren, welche die Erhaltung des passenden Abstandes durch rein mechanische Vorrichtungen herstellen, können niemals den Anforderungen genügen, welche wir an eine elektrische Lampe stellen müssen, denn da das Maximum der Länge des Lichtbogens abhängt von der Stromstärke, werden immer unvermeidliche Schwankungen letzterer oft das Verschwinden des Lichtbogens bedingen, ist dieser aber einmal verschwunden, so ist damit der Strom dauernd unterbrochen und der Licht-

bogen für immer erloschen, da derselbe ja nur beim Öffnen des Stromes entsteht, also erst wieder eine Berührung der Kohlen voraussetzt. Die elektrische Beleuchtung fing deswegen erst an Bedeutung zu gewinnen, als man den Strom selbst zum Regulator machte.

Diese Idee stammt aus dem Jahre 1848 und ein Franzose, Foucault, und zwei Engländer, Staite und Petrie, machen sich das Verdienst um diese Erfindung streitig, die erste brauchbare Ausführung rührt aber von Archereau kurze Zeit später her. Der Archereausche Apparat ist so einfach, daß man an ihm das Prinzip dieser Regulatoren am leichtesten klar machen kann. Die obere Kohle steckt in einer festen Hülse, in welcher sie verschiebbar und drehbar ist, ihr gegenüber befindet sich die untere Kohle in einer Eisenhülse, welche in einem Kupfercylinder leicht auf- und niederbewegbar ist. Diese Eisenhülse wird getragen durch eine Schnur, welche über eine feste Rolle geht und am andern Ende durch ein Gewicht gespannt wird. Das Gewicht ist so groß, daß die Eisenhülse mit ihrer Kohle mit sanftem Druck gegen die obere feste Kohle gepreßt wird. Ehe der Strom nun durch die beiden Kohlenspitzen geht, hat er eine Drahtspule zu passieren, welche auf dem Kupfercylinder, der jener Eisenhülse zur Führung dient, aufgewickelt ist, infolge dessen übt derselbe auf diese Eisenhülse eine anziehende Wirkung aus, wie das bei der Geschichte der Induktion seiner Zeit auseinandergesetzt ist. Dadurch werden die beiden Kohlenspitzen voneinander getrennt und zwischen ihnen bildet sich der Lichtbogen. Dadurch wird in den Stromkreis ein geeigneter Widerstand eingeschaltet, sodaß der Strom so stark bleibt, daß die Eisenhülse mit der Kohle fortwährend in der Schwebe gehalten, und der Lichtbogen in konstanter Länge erhalt enwird. Wird der Strom stärker, so wird die Eisenhülse mit der Kohle stärker angezogen, die Distanz der Kohlenspitzen also größer, dadurch wird der Widerstand gegen den Strom größer und die Anziehung der Drahtspule auf das Eisen geringer. So reguliert sich der Strom selbst und es ist damit das Prinzip gegeben, welches bei sämtlichen späteren Regulatoren, die einige Bedeutung hatten, in irgend einer Weise verwertet ist.

Sie unterscheiden sich von dem Archereauschen Regulator nur dadurch, daß sie beide Kohlenstifte beweglich haben, was mit einem einfachen Räderwerk oder Schraubenapparat hergestellt wird, oder daß sie, wie bei dem Apparat des Amerikaners Brush, die obere Kohle in der Schwebe halten, durch die Anziehung einer Drahtspule auf die in ihrer Mitte befindliche Eisenhülse, welche die Kohle trägt, die für gewöhnlich durch ihr eigenes Gewicht auf der unteren Kohle ruht und deswegen stets wieder bei etwaigen Störungen Stromschluß hervorbringt; oder daß endlich die Regulierung durch ein besonderes Uhrwerk bewirkt wird, dies aber wieder in seinem Gange durch einen Elektromagneten, der von dem lichterzeugenden Strome selbst durchflossen wird, reguliert wird. Letzteres ist der Fall bei der besonders in physikalischen Hörsälen viel verbreiteten Lampe von Foucault-Duboscq, und bei der in Frankreich zu technischen Zwecken sehr viel gebrauchten Serrinschen Lampe, die sich durch ein sehr umständliches Räderwerk von den anderen Apparaten unterscheidet. Gilt es aber irgendwo, so gilt es besonders bei den Regulatoren, daß das Einfachste bei gleichem Resultat auch das Beste ist. Daher verdient der von Hefner-Alteneck erfundene, von W. Siemens & Halske in Berlin konstruierte Regulator erwähnt zu werden, welcher mit Serrin das gemein hat, daß das Gewicht einer die obere Kohle haltenden messingnen Zahnstange das Uhrwerk bewegt, dessen Gang durch den Strom mittels eines Elektromagneten reguliert wird. Gleichzeitig wird dabei, wenn die obere Kohle sich senkt, die untere gehoben, sodaß das Licht in gleicher Höhe bleibt. Das Uhrwerk aber besteht nur aus drei Rädern, arbeitet daher sehr präcise ohne leichte Störungen. Die Brauchbarkeit dieser Lampen hängt wesentlich von der Präzision ab, sowie von den Grenzen, innerhalb deren der Apparat sich reguliert, da geringe Stromschwankungen nie zu vermeiden sind.

366. An Einfachheit übertroffen werden diese Regulatoren bei weitem durch die sogenannten Kerzen, welche ursprünglich jedes Mechanismus entbehrten. Die Idee zu denselben liegt bereits in dem beschriebenen Apparat von Staite; man denke sich die Federn und den unteren Block weg und lasse die Kohlenstifte parallel stehen, so hat man eine Kerze, welche

nun selbstredend aufrecht gestellt wird. Diese höchst einfache Anordnung wurde 1876 von dem jungen russischen Offizier Jablochkoff erfunden. Damit bei diesen durch eine Luftschicht von einigen Millimetern getrennten Kohlenstiften aber der Lichtbogen entstehen könne, ist es nötig, zunächst die Kohlenenden zu verbinden durch einen feinen Kohlendraht, wodurch der Strom geschlossen wird; der feine Kohlendraht wird glühend, verbrennt und nun entsteht der Lichtbogen.

Da die positive Kohle zweimal so schnell abbrennt wie die negative, so muß bei gleichgerichtetem Strome die positive Kohle den doppelten Querschnitt von dem der negativen haben, oder es muß statt des gleichgerichteten Stromes ein Wechselstrom angewendet werden, d. h. ein Strom, welcher in sehr schneller Folge seine Richtung ändert. Die Änderung muß so schnell erfolgen, daß der durch den eben von rechts nach links gehenden Strom erzeugte Lichtbogen noch besteht, wenn der Strom schon kommutiert ist, also von links nach rechts geht. Das läßt sich erreichen durch einen besondern schnell rotierenden Kommutator, oder durch geeignete Induktionsmaschinen, von denen wir gleich ausführlich reden werden. Ist ein Wechselstrom vorhanden, so sind die beiden Kohlenstifte selbstredend gleich stark zu nehmen.

Die Einfachheit dieser Kerzen ist eine überraschende, aber es liegt in der die parallelen Kohlenstifte trennenden Luftschicht die Gefahr, daß der Bogen nicht immer oben bleibt, sondern, da derselbe sich stets die Stelle des kleinsten Widerstandes suchen wird, zwischen den Kohlenstiften auf- und niedersteigt, je nach der größeren oder geringeren Distanz zwischen den Kohlenstiften, oder der Bogen kommt gar an einer unteren Stelle dauernd zu stande, brennt dort die Stifte durch und macht so die oberen Enden der Kohle unnütz. Um dem abzuhelfen, also ein ruhiges, gleichmäßiges Abbrennen zu ermöglichen, hat man zwischen die beiden Kohlenstifte eine isolierende, aber leicht schmelzbare Schicht von Kalk gebracht. Der zwischen den Enden der Kohle übergehende Lichtbogen schmelzt den Kalk successive und es brennt so die Kerze gleichmäßig herunter.

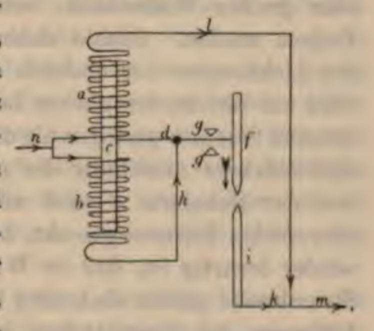
Ist die Kerze heruntergebrannt, so schiebt man entweder eine neue an ihre Stelle, was bei den gewöhnlichen Kerzen alle zwei bis drei Stunden zu geschehen hat, oder man wendet einen Kerzenhalter an, auf welchem vier bis fünf Paare von Kerzen nebeneinander stehen, die durch einen leicht zu bedienenden Kommutator nacheinander eingeschaltet werden können, respektive durch den Strom selbst eingeschaltet werden. Seit 1880 wandte die Société générale d'electricité in Paris einen Kerzenhalter an, wo mehrere Kerzen gleichzeitig eingeschaltet werden, zunächst aber nur die mit dem kleinsten Widerstand abbrennt, dann die von den übrigen mit dem geringsten Widerstand behaftete und so fort. Es ist dann aber ein stärkerer Strom nötig, da die eingeschalteten nicht brennenden Kerzen einen großen Widerstand repräsentieren.

Eine sehr ingeniöse, aber praktisch nicht viel angewandte Erfindung ist die Jaminsche Kerze von 1879, wo zwei nahezu parallel nebeneinander liegende Kohlenstäbe von einem Strom durchlaufen werden in entgegengesetzter Richtung; in geringer Entfernung führt an jeder Kohle ein Leitungsdraht den Strom in der der benachbarten Kohle gleichen Richtung hin. Zwei parallele gleichgerichtete Ströme ziehen einander an, folglich werden die Kohlen voneinander getrennt und es entsteht zwischen ihnen an der Stelle, wo die kleinste Distanz ist, der Lichtbogen. Man kann denselben auch, wo man will, durch ein den Stromschluß bewerkstelligendes Kohlenstäbchen herstellen, welches man verbrennen läßt, oder indem man die Kohlenstäbe erst damit berührt und es dann langsam fortzieht. Um nun den Lichtbogen stets am Ende zu haben, wendet Jamin, und das ist das Interessante dabei, einen Magneten an, welcher nach dem Biot-Savartschen Gesetz abstoßend auf ein solches durch den Lichtbogen repräsentiertes Stromelement wirkt, sodaß man durch Annäherung eines Südpols oder Nordpols den Lichtbogen an das eine oder andere Ende der Kohlen dirigieren kann. Dasselbe erreicht Jamin auch durch einen der Stromrichtung in dem Lichtbogen parallel und gleichgerichteten gradlinigen Stromleiter, der Lichtbogen nimmt dann durch die Anziehung dieses Stromelements die Form einer Gasflamme an, deren Leuchtkraft man noch durch das Bedecken

mit einem Hut von Kalk oder Magnesium, welcher die Kohlen aber nicht berühren darf, erheblich erhöhen kann.

367. Alle bisher beschriebenen Lampen und Kerzen haben aber den großen Nachteil, daß sie nur einzeln in einem Stromkreis mit Erfolg brennen können, schaltet man bei ihnen mehrere Lampen in ein und denselben Stromkreis, so ist die Stromstärke abhängig von der Summe der Widerstände in den einzelnen Lampen, findet also in einer Lampe eine Störung statt, so macht dieselbe sich sofort bei allen anderen auch bemerkbar, ja erfolgt in einer Lampe einmal ein Bruch der Kohle, was leicht eintreten kann, oder sonst ein Unfall, welcher Stromunterbrechung zur Folge hat, so sind gleichzeitig sämtliche Lampen erloschen. Solange die Aufgabe also noch nicht gelöst war, mehrere Lampen so von einer Stromquelle zu speisen, daß jede einzeln brennt, ohne die andere wesentlich zu beeinflussen, war das Problem der elektrischen Beleuchtung noch nicht gelöst. Man mußte also die sogenannte „Teilung des elektrischen Lichtes“ erfinden. Dies that Werner Siemens.

Die Siemenssche „Differential-Lampe“ ist in ihrer Einfachheit fast dem Ei des Kolumbus zu vergleichen. Der Draht *n* (siehe beistehendes Schema), welcher den Strom zur Lampe leitet, wird in zwei Teile geteilt, von denen jeder zu einer Spirale *a* und *b* führt, die vertikal übereinander stehen und zwischen sich einen geringen Zwischenraum frei lassen. Inmitten dieser beiden Spiralen befindet sich ein weicher Eisenstab *c*, welcher in der Mitte, also in dem Zwischenraum zwischen den beiden Spiralen, an einem Hebelarm eines zweiarmigen Hebels *d* sitzt. An dem anderen Arm des Hebels befindet sich die obere Kohle *f* mit ihrem Halter. Der weiche Eisenstab wird dadurch in der Schwebe gehalten, daß die Bewegung des Hebels zwischen zwei Eisenstiften *g g* begrenzt wird. Von der unteren Spirale geht ein Leitungsdraht *h* in die obere Kohle, welche so eingestellt ist, daß sie, wenn kein Strom vorhanden ist, über



der unteren Kohle *i* schwebt, welche durch einen Leitungsdraht *k* mit der weiteren Stromleitung *m* verbunden ist. Die obere Spirale jedoch ist durch einen Draht *l*, nach Einschaltung eines geeigneten Widerstandes ohne die Kohlen zu berühren, direkt mit der Ableitung *m* verbunden.

Wird nun der Strom durch den Draht *n* eingeführt, so wird derselbe, da der schwerere Eisenstab *c* den Hebelarm herunterzieht, bis die andere Seite gegen den oberen Stift *g* drückt, sodaß also die Kohlenspitzen *f* und *i* sich nicht berühren, durch die Spirale *a* und den Draht *l* mit der übrigen Leitung *m* geschlossen. Die Spirale induziert in *c* Magnetismus und zieht so den Stab *c* in die Höhe, dadurch wird *f* auf *i* gedrückt und es entsteht ein zweiter Stromschluß durch *b, h, d, f, i, k*. Durch diesen Strom in der Spirale *b* wird jetzt diese zweite Spirale auf *c* induzierend und anziehend wirken, sodaß der Stab *c* nach unten gezogen und dadurch die Kohlenspitzen getrennt werden. Damit das möglich ist, muß nur der Widerstand in der unteren Stromleitung geringer sein, wie der in der oberen. Durch die Trennung der Kohlenspitzen wird nun der Voltasche Lichtbogen erzeugt. Dieser aber repräsentiert für den Strom einen sehr großen Widerstand, welcher mit wachsender Länge des Bogens wächst. Sobald daher bei fortgesetzter Verlängerung des Lichtbogens der dadurch eingeschaltete Widerstand größer wird wie der in der oberen Leitung, so wird die Intensität des unteren Stromes geringer als die des oberen, es folgt dann also eine stärkere Anziehung der oberen Spirale *a* auf den Stab *c*, und der Hebelarm *d* wird wieder links in die Höhe gezogen, also rechts heruntergesenkt, bis die Distanz der Kohlenspitzen wieder derartig ist, daß die Widerstände im oberen und unteren Stromkreise gleich sind, also auch die Intensitäten. Kurz: die Differenz der Stromstärken in den beiden Schließungskreisen reguliert die Lampe, daher hat sie ihren Namen. Da nun durch die Kohlen immer nur ein Partialstrom geht, ist mit dieser Einrichtung die Teilung des elektrischen Lichtes erfunden. Ist z. B. in einer Lampe an den Kohlen etwas zerbrochen, so erfolgt nicht ein Aufhören des gesamten Stromes, da dieser immer noch durch den oberen Bogen geschlossen ist, es kann also wohl eine Lampe verlöschen, aber die anderen brennen nicht nur ungestört

weiter, sondern sogar heller wie vorher, da der Strom wegen des fehlenden Widerstandes in den Lichtbogen der erloschenen Lampe stärker geworden ist. Übrigens ist die Regulierung des Abstandes der beiden Kohlenspitzen, oder besser der oberen beweglichen von der unteren festen, praktisch nicht ganz so einfach, wie es in dem Schema angedeutet ist, es wird vielmehr durch die Bewegung des Hebelarmes und der dadurch bewirkten Senkung oder Erhebung des Kohlenhalters ein Rad mit Echappement gedreht, und durch die Schwingung eines am Echappement befindlichen Pendels die Bewegung regelmäßig. Um die durch das Abbrennen der Kohle bedingte mögliche Störung des Apparates zu vermeiden, ist auf eine sehr sinnreiche Weise der Kohlenhalter nicht direkt mit dem Hebelarm verbunden, sondern durch eine auslösbare Koppelung mit einer am Hebelarm festsitzenden Metallführung. Diese Auskoppelung tritt durch Aufschlagen des die Verbindung zwischen Metallführung und Kohlenhalter bewirkenden seitlichen Armes auf einen Auslösungsstift ein, dann rutscht die die Kohle haltende Zahnstange unter Einfluß jenes Pendels langsam soweit herunter, daß die Kohlenspitzen wieder die nötige Distanz haben. Da diese Regulierung fortwährend geschieht, wird thatsächlich das Pendel während des Brennens der Lampe nie zur Ruhe kommen, und die Differenzen in den Längen des Lichtbogens werden so gering bleiben, daß der Beschauer die dadurch hervorgebrachten Lichtintensitätsveränderungen gar nicht bemerken kann. Man hat auch mit dieser Lampe die Möglichkeit, statt eines kräftigen Lichtes mehrere schwächere aufzustellen, indem man den ursprünglichen Strom in mehrere Arme teilt und in jeden eine Lampe einschaltet.

Wegen dieser immensen Vorzüge hat die Siemenssche Lampe auch, welche erst 1879 erfunden ist, eine große Verbreitung gefunden, und die verschiedenen neueren „Systeme“ für Erzeugung des Lichtbogens haben das Siemenssche Prinzip mehr oder weniger vollständig acceptiert, sodaß sie sich fast nur durch mechanische Unterschiede von seiner Lampe unterscheiden, in Bezug auf die Verwendung des Stromes aber ist ein Unterschied nicht oder doch nur in sehr geringem Maße zu konstatieren.

[illegible] nehme ich das [illegible] dargestellt [illegible] sich die [illegible] völlig frei be[illegible] dem weichen Eisen[illegible] hat, am [illegible] am andern Ende. [illegible] befestigt, [illegible] hin nach [illegible] zu dem Kohlen[illegible] F. sodaß, wenn die [illegible] gleichzeitig G nach [illegible] d. h. wenn [illegible] Zustande ohne [illegible] E auf der un[illegible] B trägt noch [illegible] H aus dickem [illegible] bestehend, die un[illegible] Widerstand ein[illegible] in a eingeführt, [illegible] geht durch H, von [illegible] feste Röhre C, [illegible] den Halter G in den [illegible] Schraube b zur übrigen [illegible] geht von c durch den [illegible] Widerstand und von [illegible] Arm zur Schraube b. [illegible] groß ist, beim Kontakt der [illegible] aber sehr klein, so wird [illegible] durch diesen ersten Strom[illegible] gehen, also die Spirale H [illegible] Eisenstab D anziehend wirken, es wird also dieser gehoben und mit ihm die obere Kohle, sodaß nun der Voltasche Lichtbogen zwischen den beiden Kohlenspitzen entsteht. Sobald nun durch diesen Bogen der Widerstand im Stromteil I ebenso groß oder nahezu gleich [illegible]lem in II, wird die Anziehung durch die Spirale H durch [illegible]ziehung der zweiten Spirale J kompensiert. Es stellt

sich durch diese Wirkung der beiden Spiralen also ein Bogenlicht her von konstanter Länge.

Der wesentliche Unterschied zwischen dieser Lampe und der Siemensschen besteht zunächst in der Form des weichen Eisenstabes. Da Krizik für das zu magnetisierende weiche Eisen die Form eines Ellipsoids anwendet, ist die anziehende Wirkung in allen Teilen der Verschiebung gleichmäßig und deswegen kann man ihr die Einstellung der Kohlen allein anvertrauen, kann also absehen von der umständlicheren Einrichtung Siemens'. Durch eine Kontaktvorrichtung ist wie bei Siemens dafür gesorgt, daß, wenn an den Kohlen etwas schadhaft ist, sodaß der Stromschluß II allein bestehen bliebe, ein direkter Schluß zwischen den Schrauben *a* und *b* eintritt, damit die anderen in dem Hauptstromkreise liegenden Lampen durch das Verlöschen einer Lampe in ihrer Lichtstärke nicht beeinflußt werden. Das Prinzip, wie der Strom wirkt, ist offenbar dasselbe wie bei Siemens. Über die Brauchbarkeit der Lampe ist die Meinung wohl geteilt. Nach meinem Urteil erfüllt die Siemenssche Lampe die Anforderungen, welche man zu stellen berechtigt ist, besser, wie irgend ein anderes System, und es möchte vielleicht von Wert sein, zu beachten, daß die Edison-Gesellschaft, welche mit Siemens den bekannten Vertrag abgeschlossen hat, in ihrem Cirkular vom Dezember 1883 die Simenssche Lampe als die beste Bogenlichtlampe anerkennt.

B. Das Glühlicht.

368. Alle vorstehenden Apparate haben als Lichtspender den Voltaschen Lichtbogen angewandt, dem gegenüber, physikalisch freilich auf denselben Gesetzen beruhend, stehen die Glühlichter, wo ein Leiter der Elektrizität nicht, wie bei den bisherigen Kohlenspitzen, verbrennt, sondern nur glühend gemacht wird. Wie wir bei den Bogenlampen die Vorgeschichte beginnen mußten in der Mitte des vorigen Jahrhunderts bei der Funkenentladung einer Batterie oder Maschine, so haben wir auch hier die ersten Vorversuche bereits 130 Jahre vor unserer Zeit zu suchen.

Auch die Glüherscheinungen sind nicht neu. Schon das

[illegible] Luftthermometer mit einer Drahtspirale, [illegible] an welchem [illegible] Temperaturerhöhung der [illegible] beim Durchgehen der [illegible] Grundlage der [illegible] statischen [illegible] Apparat [illegible] des Glühens der Drähte, welches [illegible] verursachte. [illegible] berichtet ist, [illegible] große Maschine [illegible] Schläge, daß er [illegible] zum Glühen und [illegible] Glühversuch [illegible] leicht ver[illegible] Fortschritt, [illegible] wo die Ver[illegible] Glasballon statt[illegible] Untersuchungen über den Einfluß der [illegible] geboten.

263. [illegible] die erste Glühlichtlampe des [illegible] 1841 auch nur aus einem [illegible] war. Durch diesen [illegible] hindurch. Beim Durchleiten des [illegible] aber ihr Licht noch zu [illegible] aus einem kleinen Reservoir am oberen Ende [illegible] pulverisierten Kohlenstaub auf den [illegible] Dieser machte die Kohle [illegible] sobald ein kräftiges Licht dadurch erzeugt wurde. [illegible] die Spirale leicht schmilzt, hatte [illegible] die Vorsicht gebraucht, sie aus zwei ineinandergehakten Teilen bestehen zu lassen, sodaß man, wenn eine Hälfte ruiniert war, von der Seite wieder durch Nachschieben einen neuen Ring in die unversehrte Hälfte einhaken konnte. Trotz dieser Vorsicht erwies sich die Lampe aber nicht als dauerhaft. Platin schmilzt doch noch zu leicht und die Methode des Wiedereinhängens ist wohl nicht gut praktisch zu nennen.

Mit großer Hoffnung und viel Jubel wurde daher 1845

die Lampe von Starr begrüßt, welcher von Amerika nach London kam, hier einen Kandelaber mit 26 Lampen (nach den 26 Staaten der Union) aufstellte und sie vor Faradays Augen durch einen einzigen Strom glühen ließ, sodaß ein mächtiges Licht ausgestrahlt wurde und Starr mit seiner Erfindung jenes großen Physikers ganzes Interesse in Anspruch nahm. Die Lampe selbst bestand aus einem luftleer gemachten Glaskolben, durch welchen in geeigneter Länge zwischen zwei starken metallischen Zuleitern ein dünner Kohlenstab von Retortenkohle ging; dieser wurde durch einen hinreichend starken Strom zur Weißglut erhitzt und sandte schönes Licht aus. Starr gab als Hauptverwendung an die für Taucher, für Bergleute und für alle die Zwecke, wo ein brennendes Licht wegen Explosionsgefahr nicht wohl verwendbar sei. Eine Anwendung, die in unseren Tagen als von Edison erdacht durch die Zeitungen uns als neueste Errungenschaft gepriesen wurde. Starr bezahlte vermuthlich seine Erfindung, die durch den Übergang zur Kohle allerdings einen wesentlichen Fortschritt und etwas Neues bot, mit dem Leben. Einen Tag nach seiner Abreise aus England mit seinem Sekretär King fand man ihn tot im Bette, und King versuchte das Patent auf diese Lampe auszubeuten.

Jedoch fehlte an dieser Lampe noch etwas, was sie dauerhafter machte, denn die Kohle enthält eine große Menge Luftteilchen, dadurch entsteht selbst im luftleeren Raum eine Verbrennung, welche den Stab schließlich zerstört. Um dies zu vermeiden, reinigten Greener und Staite ein Jahr später ihre Kohle vorher mit Salpeter- und Salzsäure; aber auch sie waren nicht imstande, die Kohle völlig unverbrennbar zu machen. Wir haben ferner gesehen, daß die Retortenkohle eine Menge fremder, teils sehr schwer glühbarer Bestandteile enthält, sie ist daher, auch wenn sie nicht verbrennt, doch nicht widerstandsfähig genug und zerfällt sehr bald.

Man kehrte deswegen wieder zu Metallspiralen zurück und Petrie setzte 1849 an die Stelle des Platin das schwerer schmelzbare Iridium, dessen Herstellung freilich sehr kostspielig ist. Später ist uns auch die Anwendung dieses Metalles wieder als neue Erfindung Edisons angepriesen, allein damals wie

[illegible] wenn auch erst [illegible]

[illegible] Platins oder [illegible] mit einem Regu- [illegible] einen starken [illegible] ausschal- [illegible] wird der [illegible] die Feder an [illegible] die Lampe [illegible] nach die Kraft [illegible] die Einstellung [illegible] der Lampe etwas [illegible] daß die [illegible] der Lichteffekt [illegible] nur auf kurze [illegible] Licht haben, [illegible] ist.

[illegible] aus einer Platin- [illegible] als Regulator [illegible] hindurch gesteckt [illegible] am anderen drückte [illegible] Temperatur der [illegible] sich also [illegible] Temperatur [illegible] diese Berührung wurde [illegible] die Spirale ausgeschaltet. [illegible] wenig zuverlässig ar- [illegible] Edison gleichzeitig [illegible] zur [illegible] Schließung des [illegible] einer Lampe, damit nicht [illegible] und zur Einschaltung eines [illegible] Lampe zum Patent [illegible]

370. [illegible] wird wohl für alle Zeiten [illegible] Metallspirale ausgerüsteten Lampe [illegible] früher war man wieder zur Kohle zurückgekehrt. Der erste in dieser neuen Ära war der Russe Konn, welcher 1875 [illegible] einem evakuierten Glasballon einen Kohlenstift aus

Retortenkohle so zum Glühen brachte, daß derselbe mit seinem unteren Ende fest auf einem metallischen Zuleiter ruhte, dessen oberes Ende jedoch von einer leichtfedernden Metallplatte gedrückt wird, welche mit einer zweiten Metallstange in leitender Verbindung stand. Geht der Strom durch den ersten Zuleiter, durch die Kohle, durch die Platte und die zweite Stange, so ward die Kohle glühend und liefert das Licht. Allmählich verringert sich dabei aber ihr Querschnitt, bis sie schließlich zerbricht, dann aber fällt die Metallplatte sofort auf einen zweiten etwas kürzeren Kohlenstab, der dicht neben dem ersten ihm parallel aufgestellt ist, auf demselben Fuße, sodaß nun dieser zum Glühen kommt und dadurch nach kurzer Zeit wieder das Licht erzeugt ist. Solcher Stäbe stehen fünf von verschiedener Länge hintereinander, sodaß die Lampe längere Zeit zu brennen imstande ist. Nach Zerstörung aller fünf Stäbe fällt die Platte auf einen Kupferstab, sodaß der Strom dennoch stets geschlossen bleibt und die übrigen in den Stromkreis eingeschalteten Lampen ruhig weiterbrennen können.

Ähnliche Lampen mit Retortenkohle sind noch mehrfach konstruiert, doch habe ich keine Kenntnis darüber, ob dieselben irgendwo praktisch sich bewährt haben. Retortenkohle ist eben zu wenig rein und widerstandsfähig und wird daher eine solche Lampe bald vernichtet sein.

371. Eine epochemachende Entdeckuug hatte nun, wie durch die Lärmtrommel der amerikanischen Zeitungen bekannt gegeben wurde, Edison gemacht mit seiner Papierkohle. Kartonpapier, wie wir es zu Visitenkarten zu benutzen pflegen, war von ihm unter starkem Druck und sorgfältiger Vermeidung von Verbrennung zu einer harten Kohle umgewandelt, dann ward die Form eines kleinen Hufeisens herausgeschlagen und dieses an zwei metallenen Zuleitern in einem evakuierten Glasballon befestigt. Beim Durchleiten eines mäßig starken Stromes von acht normalen Groveschen oder Bunsenschen Elementen, wird der hufeisenförmige Bogen bereits weißglühend. Die Lampen schienen sich sehr zu bewähren, sie wurden durch besondere Reisende in allen größeren Städten, auch in Deutschland, eingeführt; man berichtete, daß dieselben über 6000 Brennstunden ohne Schaden aushielten, allein von den zahlreichen

Lampen, die ich selbst in Gebrauch hatte und von andern gebraucht gesehen habe, war der größte Teil bereits durch Verbrennen der Kohle, welche sich in feinem Staube auf die innere Glaswand, diese schwärzend, verteilte, unbrauchbar geworden nach weniger als 60 Brennstunden. Dauernd war auch diese Lampe nicht fähig eine Beleuchtung zu erzeugen. Es richtete sich daher das Augenmerk der elektrischen Techniker besonders auf die Erzeugung einer dauerhafteren Kohle. Da sind zunächst als mit Erfolg suchende Swan in England, Siemens in Berlin und Müller in Hamburg zu nennen, neben einer großen Reihe anderer Techniker.

372. Swans Kohle besteht aus Baumwollengarn, welches mit einer Mischung von 2 Teilen englischer Schwefelsäure und 1 Teil Wasser behandelt und dann karbonisiert ist. Dieser Faden wird zu einer einmal gewundenen offenen Schleife umgelegt, dann werden seine Enden um stromzuleitende Platindrähte gewickelt. Hierauf tritt die Behandlung mit der Säure ein und das Ganze wird geglüht. Nachdem dieser Bügel hergestellt ist, wird er in die Glasglocke gebracht und diese evakuiert, was Swan so weit treibt, daß die noch vorhandene Luft die Elektrizität nicht mehr leitet. Die Lampe hat einen so geringen Leitungswiderstand, daß schon ein Strom von 1 Weber (Ampère) eine Lichtstärke von 60 Normalkerzen liefert. Auch erweist sich die Lampe bei nicht zu großer Stromstärke als sehr dauerhaft und ist daher praktisch vielfach angewendet worden. Die Umbiegung des Fadens zu einer Schleife geschieht, damit das Licht möglichst nach allen Seiten gleichstark ausgestrahlt werde, was bei der Edisonschen Lampe nicht geschieht, da ist die Verbreitung der Lichtmasse in der zur Ebene des Bügels senkrechten Richtung die bei weitem größte.

Noch vollkommener erreicht die Lampe von Müller diese gleichmäßige Lichtausstrahlung dadurch, daß er den besonders präparierten Kohlenfaden zu einer Spirale mit drei Windungen formt und diese dann mit den Enden so umbiegt, daß die Achse der Spirale wieder die Form des Edisonschen Bügels annimmt.

Edison selbst sah die Untauglichkeit seiner Papierkohle

ein, er ging ebenfalls zum Baumwollfaden über, den er mit Lampenruß und Theer einrieb. Dieser Faden wurde, nachdem er ihn zu einem einfachen Bügel gebogen hatte, karbonisiert und an die Stelle jenes Papierbügels gebracht. In letzter Zeit ist Edison noch zu einer andern Kohle übergegangen, deren Bereitung und Benutzung in der Lampe etwas ausführlicher besprochen werden mag. Aus kurzen Bambusrohrstücken schneidet man schmale Streifen, die überall gleich dick sind, biegt sie in einer aus feuerfestem Material bestehenden Büchse in Form eines Hufeisens um und schließt die Büchse. Jetzt wird dieser Holzfaden in einem Glühofen bis zur Weißglut langsam erhitzt und so verkohlt. Die unteren, etwas breiteren Enden dieses Bügels werden dann an die breitgeklopften kupfernen Enden der Zuleitungsdrähte, welche an der Stelle, wo sie das Glas durchdringen, immer aus Platin bestehen müssen, weil der Wärmeausdehnungskoeffizient desselben nahezu gleich ist dem des Glases, gehängt und nun galvanoplastisch verkupfert, sodaß eine innige feste Berührung zwischen Kohle und Kupferdraht entsteht. Der so präparierte Kohlenbügel wird in den Glaskolben geführt und hier festgeschmolzen. Nun beginnt das Evakuieren des Glaskolbens und gleichzeitig wird ein Strom, zunächst ein ganz schwacher, durch den Bügel gesendet, dessen Stärke durch allmähliche Ausschaltung von Widerstand gesteigert wird bei fortschreitender Evakuierung, dadurch soll erreicht werden, daß etwa in der Kohle befindliche Luft leichter herausgetrieben wird. Hat man dies bis zur Weißglut der Kohle fortgesetzt, so wird das Rohr zum Auspumpen abgeschmelzt und die Lampe ist fertig. Bei einer solchen wird die Brenndauer auf 800 Stunden angegeben, es soll das ein Mittelwert sein.

Im Vorübergehen wollen wir noch der Maximsche Lampe (1881) gedenken, welche sich vor allen anderen dadurch auszeichnet, daß sie die Kohlenfaden nicht im luftverdünnten Raume glühen läßt, sondern in einem mit Kohlenwasserstoffgas gefüllten. Es soll dadurch erreicht werden, daß die glühende Kohle durch die bei hoher Temperatur eintretende Absonderung von Kohlenteilchen aus dem Gase regeneriert werde. In der That zeigt sich die in Form eines M gebogene Kohle in diesem Apparat

widerstandsfähiger. Leider haben die Kohlenpartikelchen, welche sich aus dem Gase absondern, aber auch die Möglichkeit, statt auf den glühenden Kohlenfaden, auf die innere Wand der Glaskugeln zu fallen und diese zu trüben, was bei der Pariser Ausstellung sehr unangenehm hervortrat. In neuester Zeit hat Maxim einen Stöpselverschluß des Glaskolbens und gerade Kohlenfaden, die schräg gegeneinander geneigt stehen, angewendet, doch sind die Beobachtungen über diese Abarten noch nicht abgeschlossen.

Um bei möglichst geringem Querschnitt (also bei leichter Erwärmung) eine möglichst große leuchtende Oberfläche zu erzielen, war A. Bernstein und gleichzeitig Cruto (1883) dazu gekommen, hohle Kohlenfäden anzuwenden. Die Bernsteinsche Lampe oder, wie sie gewöhnlich genannt wird, die Boston-Lampe benutzt hohlgewebte Baumwollfäden, die auf besondere Weise karbonisiert werden, während die Cruto-Lampe einen Platindraht mit Graphitumhüllung karbonisiert und nachher den Platindraht durch einen starken Strom schmelzt.

373. In Bezug auf die Pflanzenfasern zur Erzeugung der Kohle sei noch erwähnt, daß der erste, welcher dazu riet, meines Wissens der Amerikaner Sawyer in Verbindung mit Man war, die 1878, also in demselben Jahre, in welchem Edison noch mit Platindraht eine Lampe herstellen wollte (deutsches Patent vom 13. Nov. 1878), eine Kohle aus Weidenholz präparierten, die durch besondere Vorrichtungen gehärtet wurde. Erst 1879 kam Edison mit der Papierkohle und noch später mit der Bambusrohrkohle.

Wenn es wahr sein sollte, was aus den Zeitungsberichten hervorzugehen scheint, daß Edison in Deutschland ein Patent auf Glühlichtlampen schlechthin erteilt wäre, also auf alle Vorrichtungen, welche in luftverdünntem Raume irgend einen Kohlenfaden glühen lassen, so wäre das ein sehr bedauerlicher Mißgriff und stände auf gleicher Stufe mit dem Vorgange, welcher sich vor nahezu 200 Jahren vor dem englischen Patentamt zutrug, als es Savery ein allgemeines Patent auf Dampfmaschinen erteilte, auf Grund seiner Maschine, die doch kaum etwas anderes war, als die Nachbildung der Worcestersche Erfindung. Als dann Newcomen und Cawley 1699 mit ihrer wirklichen Erfin-

dung kamen, mußten sie mit Savery einen Vergleich abschließen und ihn in ihr Patent aufnehmen! Sollte man wirklich in dem Vertrage der deutschen Edisongesellschaft mit Siemens und der englischen Edisongesellschaft mit Swan ein Analogon zu jenem Vorgange finden? Nach den angeführten historischen Daten, die fast sämtlich den Patentschriften entnommen sind, kann Edison höchstens ein Patent auf seine Erzeugungsart der Kohle bekommen, und nicht einmal darin ist er Original, wenngleich in Zeitungen die Großartigkeit seiner Erfindungen dem Publikum lärmend genug verkündet wurde. Es sei gleich hier bemerkt, da ich später nicht darauf eingehen werde, daß die unter seinem Namen in Amerika eingeführte dynamoelektrische Maschine ebenfalls nach großen Mustern angefertigt ist, man würde gut thun sie nach Siemens zu benennen. Es ist aus obigen Gründen auch Sawyer gelungen, in Amerika mit Erfolg Edisons Patent anzugreifen. Man muß sagen, bei solchen Vorkommnissen ist das Patentwesen nur ein kaufmännisches Geschäft und verliert jeden wissenschaftlichen Wert.

374. Alle diese Lampen leiden nun an dem Übelstand, daß sie schließlich doch einmal zu Grunde gehen durch Zerstörung des Kohlenfadens, deswegen müssen sie nach mehr oder weniger kurzer Dauer durch neue ersetzt werden, was trotz des billigen Preises immerhin ein nicht zu unterschätzender Verlust ist. Man hat deswegen in neuester Zeit auf technische Einrichtungen gesonnen, nach Zerbrechen der Kohle doch wenigstens den Glasballon zu retten (siehe oben Maxims Vorrichtung), indem man den Kohlenhalter durch einen eingeschliffenen Glasstöpsel einführt und die Evakuierung durch ein seitliches, durch jenen Stöpsel ebenfalls verschließbares Rohr bewerkstelligt. Ob diese Einrichtung praktisch ist, muß die Erfahrung lehren.

Vergleicht man die beiden Methoden der Erleuchtung durch Voltabogen und durch Glühlampen mit einander, so ist über die Vorzüge der einen vor der anderen schwer etwas allgemeines zu sagen. Das Urteil einzelner Elektrotechniker, daß das Problem der „Teilung des elektrischen Lichtes“ erst durch die Glühlampe gelöst sei, ist, wenn nicht ganz unberechtigt, so

doch nur unter Beschränkungen zu unterschreiben, denn wenn es nicht wohl gelungen ist eine größere Anzahl Differentiallampen, etwa 100, in einen einzigen Leitungsbogen zu legen, so liegt das Hindernis niemals in der Lampe oder deren mangelhaften Konstruktion, sondern in der zu geringen Stromstärke. Man wird immer nur von Fall zu Fall die Frage, ob Bogenlicht oder Glühlicht, entscheiden müssen und kann für diese Entscheidung im allgemeinen nur sagen, daß da die Lichtstärke des Bogenlichtes die eines Glühlichtes um mehr als das 100 fache übertreffen kann, die Bogenlichter in erster Linie auf Straßen, Plätze, Fabriksäle und große Räume beschränkt bleiben werden, dagegen die Glühlichter auf kleinere Lokalitäten oder in größerer Anzahl auf Konzert- und Theatersäle.

375. Bei der Vergleichnng der Lichtstärken hat man bei den Glühlichtern die verschiedenen Richtungen in der Horizontalebene zu unterscheiden. Wie ich schon anführte, ist die Lichtstärke nach allen Seiten hin nicht gleich, ebenso ist sie verschieden nach dem Winkel, den der Strahl mit der Horizontalebene bildet. Bei der Bogenlichtlampe ist zu beachten, daß der Strom von der positiven Kohle mehr Teilchen abreißt als von der negativen, also bei konstanter Stromrichtung die positive aushöhlt in Form eines Konus; daraus folgt, daß die Hauptlichtentwickelung, wenn die obere Kohle die positive ist, unterhalb des Kegelmantels sich befindet, dessen Spitze in der positiven Kohle sich befindet und der einen Winkel von 60° einschließt. Daraus folgt ferner, daß man die Bogenlampen so einzurichten hat, daß der + Pol oben, der — Pol unten liegt, und daß man einen größeren Flächenraum beleuchtet, je höher das Licht angebracht ist, dabei ist aber nicht zu vergessen, daß die Intensität der Beleuchtung umgekehrt proportional ist dem Quadrat der Entfernung, es wird sich daher nicht empfehlen, die Lampen, wie es stellenweise geschieht, in gar zu großer Höhe anzubringen.

Die Messung der Lichtstärke und die Vergleichung der einzelnen Lampen in Bezug darauf, ist eine Hauptaufgabe bei allen Ausstellungen für elektrisches Licht gewesen, und wohl besonders intensiv und gut behandelt bei der Wiener Ausstellung.

Es macht sich dabei noch besonders fühlbar der Mangel einer allgemein angenommenen Lichteinheit, man kann wohl sagen, daß sämtliche Einheiten, die gebraucht werden, die französische, englische und deutsche, keine Einheiten sind, da sie selbst zu wenig beständig sind. Feine Unterschiede in der Beleuchtung sind ja überhaupt nur sehr schwer zu beobachten und es ist fraglich, ob man auf dem jetzigen Wege weiter kommen wird. Das fast ausschließlich dazu benutzte verbesserte Bunsensche Photometer scheint mir sehr wenig dazu geeignet zu sein, ein und derselbe Beobachter bekommt bei denselben Lichtquellen oft sehr differente Angaben. Ob das Zöllnersche Photometer dazu geeignet ist, eine sichere Vergleichung zu liefern, ist auch noch eine offene Frage und wird es bleiben, so lange noch nicht festgestellt ist, ob die zur Drehung der Flügel nötige Energie von den Lichtstrahlen allein geleistet wird, was ja immerhin wahrscheinlich scheint nach den Zöllnerschen Beobachtungen. Aus der Unsicherheit dieser Bestimmung erklärt es sich, wie so viele verschiedene Angaben über die Wirkung und die Kostenberechnungen der einzelnen Lampen existieren, und man wird gut thun, besonders skeptisch zu sein bei den eigenen Angaben einzelner Erfinder, die immer die größtmöglichen Zahlen angeben, welche sich später oft ganz erhebliche Reduktionen gefallen lassen müssen.

376. Es muß noch bemerkt werden, daß wenige Jahre hindurch auch Lampen mit sogenanntem unvollkommenen Kontakt eine Rolle spielen zu wollen schienen. Das Prinzip derselben ist, daß ein Kohlenstift gegen eine rotierende Scheibe, gegen einen rotierenden Cylinder oder ein Kugelsegment etc. drückt. Der Strom geht von der Kohlenspitze zu dem größeren Kohlen stück und es entsteht dann ein Glühen der Kohlenspitze und ein kurzer Lichtbogen bei dem teils unvollkommenen Kontakt, allein das Licht der Lampen ist sehr wenig gleichmäßig, daher sind die Lampen auch nach Einführung der neueren Glühlampen und besonders der Differentiallampen meines Wissens völlig verdrängt. Dahin gehören die Lampen Varleys, Reyniers, Werdermanns und Marcus', sämmtlich aus dem Jahre 1878, und noch einige andere. Sie schienen deswegen Erfolg zu haben, weil sie das Prinzip der Teilung des elektrischen Lichtes

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] Maschinen zu [illegible] zwei Männer mit [illegible] Maschinen [illegible] gleich [illegible] einem Gestelle [illegible] Eisen [illegible] Den Enden [illegible] eines mög- [illegible] seinen [illegible] und [illegible] versetzt wer- [illegible] Enden [illegible] während einer [illegible] der andern sich [illegible] Faradays Bestimmungen über [illegible] beachten, daß [illegible] Südpol und [illegible] die Pole des Magneten mit A [illegible] B [illegible] A Nordpol sei, und die ihnen bei [illegible] der Rotation gegenüberstehenden Enden des Elektromagneten mit A' und B', so wird bei der Drehung A von A' entfernt, A induziert also in A' und der es umgebenden Spirale [illegible] ngesetztem Sinne wie in B' und dessen Spirale, da [illegible] sem nähert. B dagegen wird, da er sich von B'

[illegible] Mag. Ser. 3. Bd. 1. 1832. pag. 45.

[illegible] de Chim. et de Phys. Bd. 50. 1832. pag. 322.

entfernt, hier die gleiche Induktion ausüben, wie der genäherte Pol A; in A' dagegen die gleiche wie der entfernte Pol A, da B sich A' nähert. Nach einer halben Umdrehung ändert sich die Richtung der Induktion, um nach nochmaliger halber Umdrehung in gleichem Sinne wie zu Anfang zu wirken. Man erhält demnach in jeder Drahtspule nach jeder halben Umdrehung eine Änderung der Stromrichtung. Man kann nun die beiden Spulen auf den beiden Schenkeln des Ankers so wickeln, daß die induzierten Ströme, wie auch ihre Richtung sei, sich verstärken, also in gleichem Sinne wirken; wenn nämlich auf beiden Schenkeln die Windungen gleich gerichtet sind und die Endpunkte der beiden Windungen miteinander verbunden sind, so wird ein Strom, der die Windung auf A' im Sinne der Windung durchläuft, die Spule auf B' im entgegengesetzten Sinne durchlaufen; dies ist aber auch die Richtung des direkt in B' induzierten Stromes. — Man hat dann nach einer halben Umdrehung in beiden Spulen eine Änderung der Stromesrichtung in gleichem Sinne.

Eine solche Maschine liefert daher einen „Wechselstrom", und zeigt sich ihre Bedeutung besonders für physiologische Zwecke damit von selbst an, denn obgleich die Stärke des induzierten Stromes außer von der Geschwindigkeit der Drehung wesentlich abhängt von der Stärke des gedrehten Magneten, so wurde die Maschine nur in kleinem Maßstabe ausgeführt, da eine Drehung eines sehr großen kräftigen Stahlmagneten immerhin mit Schwierigkeiten verbunden war und die dazu notwendige Arbeit nicht im Verhältnis steht zu der gewonnenen Stromstärke.

378. Es war daher ein Fortschritt, wenn auch nur ein technischer, daß Ritchie[1]) und Saxton[2]) im folgenden Jahre, 1833, den Magneten ruhen ließen und die Drahtspulen mit ihren Eisenkernen rotieren ließen. Nach Faradays Beobachtung bleibt sich die Induktionswirkung ganz gleich; da nun aber bei ruhenden Magneten die Dimensionen, also auch der Magnetismus derselben beliebig vergrößert werden können, also

1) Phil. Trans. 1833. II. pag. 320.
2) Pogg. Annal. Bd. 39. 1836. pag. 401.

die Stärke der Induktion wesentlich vermehrt werden kann, ohne die gedrehte Masse zu vergrößern, so ist der Erfolg dieser Änderung ein großer. Und ganz allgemein traten Maschinen mit drehbaren Induktionsrollen an die Stelle der älteren Pixiischen Form. In gleichem Sinne, wie Ritchie und Saxton verbesserten, konstruierten auch Clarke, Petrina und v. Ettinghausen.

Bei der Clarkeschen[1]) Einrichtung ist noch zu bemerken, daß er nicht, wie Saxton, den Anker mit den beiden Drahtspulen vor den Polen des Stahlmagnets rotieren ließ, sodaß also die Rotationsachse in der Längsrichtung des Stahlmagneten in der Mitte zwischen den beiden Polen lag, sondern da, wie Coulomb bemerkt hatte, die Pole eines Magnetstabes nicht an den Enden desselben zu suchen sind, sondern etwas davon entfernt im Inneren, so ließ er bei vertikal stehendem Hufeisenmagneten, dessen Pole nach unten gerichtet waren, die Rotationsachse der Drahtspulen horizontal, senkrecht auf der Ebene des Hufeisenmagneten liegen, in einer solchen Distanz von den Enden desselben, daß die Rotationsachse die Verbindungslinie der Pole halbierte. Gleichzeitig vermied Clarke damit den Übelstand, daß, wenn die Drahtrolle von einem Magnetpol fortgedreht wird nach einem andern hin, sie bei der Lage vor den Enden nahezu während eines Bogens von 160° keinem Magneten sich gegenüber befindet und deswegen nur geringe Induktion erfährt. Bei seiner Anordnung war vielmehr für den größten Teil der Drehung die Drahtrolle, wenn nicht über dem Magnetpole, so doch über Teilen des Magneten, die dem Pol sehr nahe lagen; es wurde daher die Induktionswirkung wesentlich verstärkt.

Ebenso wie Clarke konstruierte auch Petrina[2]) in Linz; er machte aber die weitere Verbesserung, statt zwei Induktionsrollen deren vier zu verwenden, die in Form eines Kreuzes an der Achse angebracht sind, sodaß also zwei Anker mit je zwei Drahtrollen rotieren; dabei ist dann die Einrichtung getroffen, daß entweder beide Ströme aus je zwei einander gegenüberstehenden Drahtspulen nebeneinander oder hintereinander

1) Pogg. Annal. Bd. 39. 1836. pag. 404.
2) Pogg. Annal. Bd. 64. 1845. p. 58.

(auf Quantität oder Spannung) eingeschaltet werden können, wodurch die erhaltenen Ströme nahezu verdoppelt wurden.

379. Eine andere Verbesserung rührt von Stöhrer[1]) in Leipzig her. Nachdem er seine ersten Maschinen nach Art der Saxtonschen gebaut hatte, d. h. vor einem horizontal liegenden, aus mehreren Lamellen bestehenden Hufeisenmagneten einen Anker mit den Induktionsrollen hatte rotieren lassen, wandte er sich 1844 dazu, eine Maschine mit verstärkter Wirkung zu konstruieren. Er stellte drei gleiche, aus je fünf Lamellen bestehende Hufeisenmagnete vertikal mit den Polen nach oben so auf, daß die Pole auf der Peripherie eines Kreises lagen und immer positiver und negativer Pol abwechselten. Diesen sechs Polen standen gegenüber sechs Induktionsrollen, deren Eisenkerne an einen Eisenring angeschraubt waren, welcher um die Rotationsachse drehbar ist. Wird dieser Kreis von Induktorrollen nun in Rotation versetzt, so wird auf je zwei aufeinander folgende Rollen bei der Drehung vom positiven Pol bis zu seinem benachbarten negativen in entgegengesetzter Weise induziert. Verbindet man sie also in der eben bei der Pixiischen Maschine beschriebenen Weise, so werden die Ströme in gleichem Sinne die Rollen durchlaufen, sich also verstärken; verbindet man dann die drei Paare von Rollen so, daß diese drei Elementarströme wiederum in gleicher Richtung fließen, so hat man während der Drehung von einem Pol zum andern von allen sechs Induktionen dieselbe Stromrichtung, also einen sehr verstärkten Strom. Während einer ganzen Umdrehung wird selbstredend dann sechsmal die Richtung des Induktionsstromes geändert.

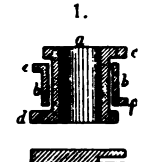
380. Da es nun in der Praxis, vor allem in der damaligen Zeit, darauf ankam, nicht sowohl starke Wechselströme zu haben, denn die von einer solchen Maschine gelieferten hält kein sterbliches Wesen aus, sondern sehr starke konstante Ströme, z. B. zu galvanoplastischen Zwecken, oder zur Lichterzeugung etc., so war die Aufgabe schon gleich bei der ersten Strommaschine Pixiis an den Erfinder herangetreten, ob es nicht möglich sei, trotz der Stromesänderung in den Induktor-

---

1) Pogg. Annal. Bd. 61. 1844. p. 417.

rollen, in der äußeren Leitung einen konstanten Strom zu bekommen. Pixii löste diese Frage nicht. Dagegen finden wir bei Clarke bereits einen sogenannten Kommutator, d. h. eine Vorrichtung, wodurch die wechselnden Ströme der Induktorrollen alle gleichgerichtet werden. Bei der Saxtonschen ist eine solche Vorrichtung durch Poggendorff[1]) angebracht, und den Stöhrerschen Kommutator, welchen dieser bei den einfachen Maschinen mit zwei Rollen anwandte, soll nebenstehendes Schema erläutern.

In Fig. 1 ist *a* eine auf die Rotationsachse gesteckte Metallbüchse, welche mit dem einen Drahtende in Verbindung steht; darauf befindet sich eine isolierende Schicht und über dieser sitzt die zweite Metallbüchse *b* auf, die mit dem andern Drahtende der Induktorrollen in Verbindung steht. Die Ränder dieser Metallbüchsen sind nun so mit halbkreisförmigen Reifen versehen, daß am oberen Rande von *a* der Halbkreisring *c* aufgeschraubt ist, während die gegenüberliegende Hälfte nicht oben, sondern unten bei *d* einen analogen Reifen hat. Dieser Anordnung entgegengesetzt ist die Anbringung der Reifen bei der Büchse *b*, da hat der untere Rand den Reifen *f* rechts, der obere den Reifen *e* links. Diesen hervorstehenden Reifen gegenüber befindet sich oben und unten an einem festen Stativ je ein Streifen, wie er in 2) dargestellt ist. Von diesen Streifen gehen dann die Leitungsdrähte aus. Wenn nun die in der Zeichnung links gezeichnete Hälfte vor den federnden Streifen vorbeigeht, so hat die innere Büchse *a* mit dem unteren, die äußere *b* mit dem oberen Kontakt; ist diese Büchsenkombination so verbunden mit den Drahtenden, daß, während dieser Kontakt dauert, die innere Büchse den positiven, die äußere den negativen Pol repräsentiert, so wird in dem Augenblick, wo die halbe Umdrehung beendet ist, die Polarität der Büchsen sich ändern. Würde dann die untere Feder mit der inneren, die obere mit der äußeren in Kontakt bleiben, so müßte in der Stromleitung ein Richtungswechsel eintreten; in dem Augenblick aber kommt die untere Feder



1) Pogg. Annal. Bd. 45. 1838. pag. 391.

auf den Reifen f, die obere auf c, und die Polarität der Federn, also die Richtung des Stromes in der äußeren Stromleitung bleibt ungeändert.

Ich habe diese Einrichtung so ausführlich beschrieben, weil sie mutatis mutandis auf alle Maschinen, die gleichmäßigen Strom liefern sollen, angewandt werden kann; z. B. bei der verstärkten Stöhrerschen Maschine sind nur an die Stelle der zwei Reifen bei dem einmaligen Stromwechsel während einer Umdrehung auf jeder der Büchsen sechs Streifen anzubringen, da bei einer Umdrehung sechs Stromwechsel eintreten. Auch bei den späteren Maschinen sind ganz analoge Einrichtungen getroffen; es kann damit jede Maschine, die Wechselströme liefert, zu einer solchen mit konstantem Strom umgewandelt werden; ich werde daher auf diese commutierenden Einrichtungen nicht weiter eingehen.

381. Bei dieser Stöhrerschen Maschine sei noch erwähnt, daß Weber auf sie seine Untersuchung über die Abhängigkeit der Stromintensität von der Drehungsgeschwindigkeit ausdehnte. Bei einer Maschine ist die Drehungsgeschwindigkeit zunächst ja proportional dem Wechsel der Polarität in einer Sekunde, deswegen vermutete man, daß die Intensität proportional der Drehungsgeschwindigkeit sei. Weber beobachtete an einem einfacheren Apparat dies Verhältnis im Jahre 1838. Er ließ auf einen rotierenden Eisenstab, der mit einer Induktorspule umgeben war, zunächst den Erdmagnetismus induzierend wirken, dann zwei Magnetstäbe, welche in verschiedenen Entfernungen von diesem rotierenden Apparat angebracht werden konnten und beobachtete die Stärke beider Induktionen an einem Magnetometer mit Multiplikator. Er erhielt folgende Tabelle[1]):

Abstand d. Magnete von dem Induktor.	Zahl d. Rotationen des Induktors.	Induktion des Eisens.
457,5	20	193,92
457,5	40	344,73
58,5	20	321,93
58,5	40	493,31.

1) Resultate a. d. Beob. d. magn. Vereins. 1838. p. 129.

Die Zahlen der dritten Columne sind korrigierte Ablenkungen am Magnetometer, also proportional den Intensitäten.

Berechnet man hieraus das Verhältnis der Intensitäten für 1 Wechsel, so ergiebt sich für die fernen Magnete $J : J' = 1 : 0{,}89$, für nahe Magnete $J : J' = 1 : 0{,}765$. Es ist also keine Proportionalität zwischen Drehungsgeschwindigkeit und Intensität.

Im Jahre 1844 wandte Weber[1]) dies auf den Stöhrerschen Apparat an und erhielt folgende Tabelle:

Wechsel in 1 Sekunde $n =$	27,9	33,48	44,64
Korrigierte Ablenkungen $i =$	89,15	95,263	101,646.

Daraus folgt

$$i = \frac{5{,}74435\, n}{1 + 0{,}01939\, n + 0{,}00033\, n^2},$$

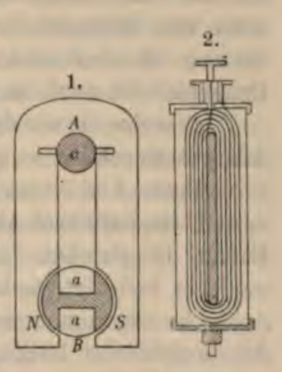
also in jenem Falle ein Maximum für $n = 55$ Wechseln, dann ist $i = 103{,}1$. So giebt es ein Maximum für jede Maschine.

382. Auch die Petrinasche Anordnung erfuhr eine Verbesserung durch Sinsteden.[2]) Er ließ die vier Induktorrollen, welche jetzt nicht mehr an die vier Arme eines weichen Eisenkreuzes geschraubt sein dürfen, sondern durch gekreuzte Messingstangen gehalten sind, in deren Schnittpunkt sich die Rotationsachse befindet, so zwischen zwei einander gegenüber gestellten, in ihrer Ebene vertikalen Hufeisenmagneten rotieren, daß, wenn bei dem einen Hufeisen der Nordpol oben lag, beim andern der Südpol oben gefunden wurde. Die Rotationsachse stand vertikal und halbierte die Verbindungslinien der sich gegenüber stehenden Pole der beiden Magneten. Bei der Rotation gingen die Induktorrollen dann zwischen den beiden Enden jedes Hufeisenmagneten durch, sodaß durch den Südpol und Nordpol je eines Hufeisens in dem Eisenkern der passierenden Induktorrolle eine Induktion in gleichem Sinne ausgeübt wurde.

383. Die größte Verbesserung verdanken die magnetelektrischen Maschinen dem schon so oft genannten W. Siemens[3]) und zwar nach zwei Richtungen. Er trennte zunächst die Lamellen, welche bei Stöhrer zu einem Hufeisen verbunden ge-

1) Pogg. Annal. Bd. 61. 1844. p. 431.
2) Pogg. Annal. Bd. 92. 1854. pag. 220.
3) Pogg. Annal. Bd. 101. 1857. pag. 271.

wesen waren, indem er eine ganze Serie schmaler Hufeisenlamellen *A*, deren Arme verhältnismäßig weit von einander standen, auf einem horizontalen Balken *C* aufhing, sodaß die Pole nach unten gerichtet waren und auf der einen Seite sämtliche Nordpole, auf der anderen sämtliche Südpole lagen. Nun schnitt er sämtliche Pole nach dem inneren Raume zu aus, wie das beistehende Schema (1) andeutet, sodaß sie eine kreisrunde Öffnung einschlossen, in welche ein Cylinder gerade paßte. Die zweite und hauptsächlichste Verbesserung war aber, die Konstruktion seines Cylinderinduktors. Den Querschnitt des Gestelles *B*, welches in diesen cylinderförmigen Raum zwischen den Polen der Hufeisenmagnete an einer rotierenden Achse gesteckt werden konnte, zeigt die Figur. In den angedeuteten freien Raum *aa* zu beiden Seiten der mittleren Scheidewand wurden die Windungen gelegt, sodaß der Längsschnitt senkrecht zu der mittleren Scheidewand, wie in Fig. 2 dargestellt ist, aussieht. Natürlich werden auch hier bei der Rotation dieses Cylinderinduktors Wechselströme erzeugt, indem ja die Bewegung des Induktors in Bezug auf einen Pol gerade so von statten geht wie die des Weberschen Rotationsinduktors oder des Erdinduktors; in Bezug auf die Stromesrichtung verweise ich auf das über diese Apparate seiner Zeit gesagte. Will man also hier einen konstanten Strom haben, so hat man auch einen Kommutator anzubringen.



384. Ehe wir zu der Weiterbildung der Siemensschen Maschine zur Dynamomaschine übergehen, wollen wir die magnetelektrischen Maschinen zu Ende bringen. Es versteht sich, daß eine große Anzahl verschiedener Konstruktionen gemacht sind, denn das Ziel war ein zu verlockendes, allein man kann wohl sagen, sie sind gekommen und gegangen und ihre Stätte findet man nicht mehr. Auf der Pariser Weltausstellung 1867 ist eine ganze Reihe solcher Maschinen gewesen, die heute kaum noch dem Namen nach bekannt sind, und die nicht einmal historisches

Interesse haben, weil sie keinen Schritt weiter führten. Es kann daher nicht unsere Aufgabe sein hier länger zu verweilen, nur sei einer Maschine noch kurz gedacht, welche bis heute noch ein kümmerliches Dasein auf einzelnen Leuchtthürmen fristet, die aber auch wohl bald ganz verdrängt sein wird. Prinzipiell ist auch an ihr nichts Neues.

Ich meine die von dem Brüsseler Professor Nollet[1]) erfundene Alliance-Maschine, so genannt weil die Alliance-Gesellschaft sie verfertigte. Auf einem großen eisernen Gestell, dessen Vorderansicht ein reguläres Achteck bildet, sind auf acht horizontalen Balken in gleichen Distanzen je fünf oder sieben Hufeisenmagnete befestigt, sodaß ihre Pole alle dem Mittelpunkte des Achtecks zugewandt sind und ihre Ebenen senkrecht stehen auf den horizontalen Balken. Mat hat also in einem Vertikalschnitt durch die Ebene eines solchen Magneten 16 Pole auf der Peripherie eines Kreises, dessen Mittelpunkt sich in der durch den Mittelpunkt des vorderen Achtecks gehenden horizontalen Drehungsachse befindet. Auf dieser Drehungsachse sind Scheiben mit je 16 Induktorrollen, welche so angeordnet sind, daß vor je einem Pol eines eben beschriebenes Querschnittes je eine Rolle liegt. Diese Scheiben liegen zwischen je zwei Magnetenreihen, sind also fünf Magnete auf je einem Balken, so sind vier Scheiben mit Induktorrollen zwischen den aufeinander folgenden Magneten angebracht, bei sieben Magneten sechs Reihen etc. Da in einer Peripherie 16 Pole liegen, haben wir bei einer Umdrehung 16 Wechsel, oder wenn 400 Umdrehungen in einer Minute erfolgen, so hat man über 100 Wechsel in einer Sekunde. Um konstanten Strom zu haben wäre also eine Kommutation von 16 Wechseln bei einer Umdrehung zu besorgen. An dieser Schwierigkeit würde die Maschine zu Grunde gegangen sein, wenn nicht Masson den Kommutator für die Erzeugung des Lichtes als überflüssig beseitigt hätte, da die Maschine aber lediglich für Beleuchtungszwecke gebraucht wurde, so konnte sie wohl ein bescheidenes Dasein fristen, welches aber unberechtigt war, sobald man die Thätigkeit derselben

1) Die elektrische Beleuchtung von H. Fontaine, deutsch von Ross. 1880 pag. 98 ff.

auch für andere Aufgaben anwenden wollte. Noch 1878 konnte sich die Maschine mit den anderen zu messen versuchen. In neuester Zeit ist die Alliance-Maschine wesentlich verändert und verbessert (?) durch Méritens, ob dieselbe aber mehr Erfolg haben wird, wie die Nollets ist noch nicht zu konstatieren, doch wird sie keinenfalls die Dynamomaschine schlagen in der Konkurrenz. Es scheint mir ein nutzloses Bemühen magnetelektrische Maschinen zu suchen, die für elektrisches Licht ausreichende Ströme liefern sollen, das besorgen die Dynamomaschinen besser. Auf dem Experimentiertisch und zu physiologischen Wirkungen mag das magnetelektrische Prinzip stets mit Erfolg verwandt werden.

385. Wir hätten nun der Übergangskonstruktion zu gedenken, die von Siemens Prinzip ausgehend, den Weg zeigte, auf welchem Siemens schließlich der Erfinder der Dynamomaschine wurde.

Im Jahre 1866 kam ein sehr verdienstvoller englischer Physiker, Wilde in Manchester, auf die Idee, da der Magnetismus der von Siemens angewandten Hufeisenmagnete doch immerhin ein zur Masse der Magnete sehr geringer war, diese Stahlmagnete durch Elektromagnete zu ersetzen. Wilde nimmt zwei dicke Eisenblechplatten und umwickelt sie dergestalt mit Draht, daß wenn ein Strom durch beide hindurchgeht, er in den Platten entgegengesetzte Polarität hervorruft. Diese beiden Platten werden vertikal neben einander aufgestellt, ihre oberen Pole werden durch eine kräftige Eisenplatte verbunden und die unteren Pole erhalten große Eisenklötze vorgesetzt, die an ihrer Berührung durch eine zwischengelegte Kupferplatte gehindert sind. So stellen sie einen großen Eisenblock dar, in dessen Mitte jene Kupferplatte liegt. Dieser Eisenblock ist in der Mitte durchbohrt, um den Siemensschen Cylinderinduktor aufzunehmen. Ein weiterer Fortschritt war nun, daß Wilde nicht eine galvanische Kette zur Erzeugung des für die Elektromagneten notwendigen Stromes gebrauchte, sondern diesen durch eine kleine auf die obere Eisenplatte gesetzte Siemenssche magnetelektrische Maschine erzeugte. Es war das auch insofern neu, als dadurch gezeigt wurde, daß der Strom einer magnetelektrischen Maschine imstande sei

kräftige Elektromagnete zu erzeugen; selbstredend muß die Siemenssche Maschine hierbei mit dem Kommutator für konstanten Strom versehen sein. Der Cylinderinduktor des Elektromagneten hat den dreifachen Durchmesser wie der von der Siemensschen Maschine. Wilde nannte den Siemensschen Apparat den Erreger, den Elektromagneten, den Generator. Er ließ von einer 10 Pferdekräfte liefernden Maschine den Induktor des Erregers 2400 Touren, den des Generators 1500 in der Minute machen und erhielt damit eine Lichtstärke von 1200 Carcelbrennern. Seine Maschine wurde auch viel gebraucht zur galvanoplastischen Verkupferung, Versilberung etc. sowie zur Abscheidung der Metalle aus Erzen und Salzen.

386. Nun fehlte noch ein Schritt zur Dynamomaschine und den that Siemens 1867. Siemens legte der königl. Akademie zu Berlin durch Prof. Magnus das Prinzip seiner Maschine vor.[1]) Es ist nicht nötig den Erreger anzuwenden. Alles mechanisch behandelte Eisen pflegt eine wenn auch noch so geringe Menge remanenten Magnetismus zu bewahren, das geht

1) Monatsberichte der kgl. Akademie zu Berlin. 1867. pag. 55. Sitzung vom 17. Januar.

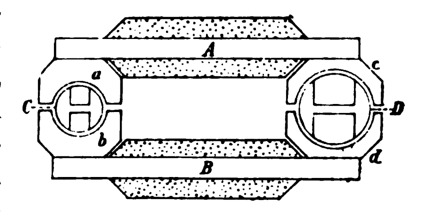
In ausländischen Journalen und Monographien findet man häufig diese Entdeckung als eine von Siemens und Wheatstone gemeinschaftlich gemachte angeführt, es liegt da offenbar eine Verwechslung zwischen den beiden Brüdern Siemens vor. Werner Siemens, welcher die Erfindung 1866 machte und danach die erste Maschine ohne besonderen Stromerreger baute, legte seine Entdeckung durch Magnus, seinem Lehrer und Freund, der Akademie in Berlin vor. Der Artikel hat die bemerkenswerte Überschrift: Über die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete. Freilich erschienen diese Monatsberichte gesammelt erst 1868. Es ist dann allerdings die Erfindung auch der Roy. Soc. vorgetragen (Proceedings 1867. Vol. 15), allein sowohl William Siemens in London, wie vor allem Wheatstone sind an der Erfindung selbst nicht beteiligt.

Es erledigt sich damit auch die Behauptung Fontaines, daß der Engländer Varley die Priorität des Gedankens Siemens streitig machen könne, da er 1866 das Prinzip in England bereits zum Patent angemeldet habe. In seinen schriftstellerischen Leistungen habe ich nicht etwas finden können, welches die Priorität Siemens streitig zu machen imstande wäre. Außerdem ist zu bedenken, wenn Siemens am 17. Januar 1867 von der Maschine und den damit gewonnenen Resultaten berichtet, daß er die Maschine spätestens im Herbst 1866 bereits gebaut haben muß.

soweit, daß man, um wirklich weiches Eisen zu haben, welches ganz frei von Magnetismus, also geeignet ist, die bekannten magnetischen Induktionserscheinungen an weichem Eisen gut darzustellen, den Eisenstab einem oft zu wiederholendem Glühprozeß aussetzen muß, z. B. gut thut, denselben einen Winter über in einem täglich geheizten Ofen an der Feuerstelle zu vermauern. Sollte aber das Eisen des Elektromagneten zufällig ganz ohne Magnetismus sein, so genügt ein einmal durch die Windungen geleiteter schwacher Strom von einer Kette, und die Eisenplatten werden hinfort hinreichend remanenten Magnetismus beherbergen.

Wird nun der Induktor in Bewegung gesetzt, so wird zunächst durch den remanenten Magnetismus ein ganz schwacher Strom erzeugt werden, leitet man diesen durch die Drahtwindungen des Elektromagneten, so verstärkt derselbe den Magnetismus im Eisen, dadurch wird jetzt auch der Strom in dem bewegten Induktor verstärkt, und dieser verstärkt wiederum beim Durchgange durch die Windungen des Elektromagneten den Magnetismus des Eisens. So geht die Verstärkung der Wirkung fort bis zu einer oberen Grenze, welche von der Geschwindigkeit der Drehung, der Länge des Drahtes und der möglichen Grenze des Magnetismus abhängt.

387. Nach diesem Prinzip wurde die erste Maschine in England für größere Stromstärken konstruiert von Ladd. Zwei horizontale gerade Elektromagnete *A* und *B*, deren Windungen so verbunden waren, daß ein durchgehender Strom entgegengesetzte Polarität erzeugte, wurden parallel und horizontal über einander auf-



gestellt und an beiden Enden mit Eisenmassen *a*, *b*, *c* und *d* versehen, die wie bei dem Wildeschen Generator einander gegenüberstanden, und die auf der einen Seite in ihrer Höhlung einen kleinen Siemensschen Cylinderinduktor *C*, auf der anderen einen größeren Induktor *D* aufnahmen, wurde nun zunächst der kleine Induktor in Bewegung gesetzt und der durch den remanenten Magnetismus darin erzeugte Strom durch die Windungen des

Elekromagneten geleitet, so wiederholte sich das oben im Prinzip angegebene. Der Elektromagnet kam dadurch bald auf die größtmögliche Stärke. Drehte man nun den größeren Cylinderinduktor ebenfalls, so wurden in ihm durch den starken Elektromagneten stärkere Ströme induziert, die nun außerhalb der Maschine verwendet werden konnten.

Es mag noch hinzugefügt werden, daß um den ersten etwa nicht vorhandenen Magnetismus in den Eisenmassen zu erregen, es nicht nötig ist gerade einen galvanischen Strom zu verwenden, es genügt einen kleinen Stabmagneten vor dieselben zu bringen, oder aber die Eisenmassen einfach in den magnetischen Meridian zu legen, dann wird der Erdmagnetismus hinreichend induzierend wirken. Für gewöhnlich ist, wie schon gesagt, eine solche Rücksichtnahme gar nicht geboten, sondern die Eisenmassen werden an sich hinreichend Magnetismus besitzen, oder aber der Erdmagnetismus, der ja nur in der zum Meridian genau senkrechten Lage der Eisenmassen ganz unwirksam ist, wird im allgemeinen hinreichend induzieren.

Siemens selbst geht in seiner Konstruktion nun weiter wie Ladd, er sagt, es ist der Erreger überhaupt ganz überflüssig und ist nur eine unnötige Kraftvergeudung, er hat deswegen nur einen Cylinderinduktor. Der in diesem erzeugte Strom wird direkt durch die Windungen des Elektromagneten geschickt und dann außerhalb der Maschine verwendet, oder aber es geht ein Zweigstrom durch den Elektromagneten, während der andere Zweig außerhalb des Apparates geschlossen ist. In dieser letzten Form ist die Maschine besonders zu Demonstrationszwecken vielfach verbreitet.

388. Ehe ich die weiteren Siemensschen Erfindungen und die allgemeinere Verwendung dieses Dynamoprinzips verfolge, muß ich einige Jahre zurückgreifen auf eine Erfindung, die dieselbe Rolle spielt wie der Siemenssche Cylinderinduktor. Im Jahre 1860 erfand Pacinotti den sogenannten Ringinduktor. Dieser schließt sich am besten an die Stöhrersche magnetelektrische größere Maschine an (s. pag. 543). Bei dieser waren ja die Induktorrollen sämtlich auf einen Eisenring aufgeschraubt. Ich habe da gezeigt, wie zwei nebeneinander stehende Rollen einen Hufeisen-Elektromagneten repräsentierten. Betrachtet man

nur den Ring allein, so ist darin immer in der Mitte zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rollen eine Stelle, welche neutralen Magnetismus besitzt (nach Poissonscher Bezeichnung), an den Stellen, wo die Rollen angeschraubt sind, wir Nord- oder Südmagnetismus sein. In einem Augenblicke, wo die Rollen gerade vor den sechs Magnetpolen stehen, haben wir also an drei Stellen in dem Ringe Nord-, an drei zwischenliegenden Südmagnetismus, d. h. wir können uns den ganzen Ring aus sechs hintereinanderliegenden Magneten zusammengesetzt denken. Bei weitergehender Rotation nimmt die Stärke der Pole ab, um in dem Augenblicke, wo die Drahtrollen sich gerade in der Mitte zwischen den Polen der Hufeisenmagnete befinden, zu verschwinden und darauf wieder aber in entgegengesetztem Sinn zu wachsen. In ein und demselben Stück des Ringes haben wir also während der Rotation sechsmal Wechsel der Polarität. Lassen wir jetzt die angeschraubten Eisenzapfen ganz fort und wickeln die Induktionsspiralen direkt auf den Eisenring, so entsteht der Pacinottische Ring. Der magnetische Zustand des Ringes ist während der Rotation aber ein ganz anderer, wie der des Stöhrerschen Ringes.

Denken[1]) wir uns zwei nach Art der Siemensschen Magnetpole bei seinem Cylinderinduktor ausgehöhlte Magnetpole einander gegenüberstehend und an Stelle jenes Cylinders in dieser Höhlung den Eisenring, so wird der Ring auf der einen Hälfte Südmagnetismus zeigen, auf der andern Nordmagnetismus. Wird der Ring nun gedreht, so ändert sich die Lage des magnetischen Feldes nicht, aber die Lage der Ringteile gegen dasselbe, es werden einzelne Teile statt Südmagnetismus Nordmagnetismus erhalten, andere umgekehrt, in allen Teilen wird sich daher kontinuierlich die Intensität des Magnetismus ändern; gehen wir also mit einem Teilchen des Ringes während der Rotation herum, so wird von dem Augenblick an, wo wir mitten vor dem Nordpol uns befanden, also in dem gewählten Teilchen, die größte Intensität des Südmagnetismus war, diese Intensität abnehmen bis zur 0, um dann zur gleichgroßen Intensität des

1) Vergl. den Artikel: Die dynamoelektrische Maschine von Siemens in Wiedem. Annal. Bd. 14. 1881. pag. 469, dem ich eine Reihe der folgenden Bemerkungen entnehme.

Nordmagnetismus zu gelangen, an dem entgegengesetzten Punkte der Kreisbahn.

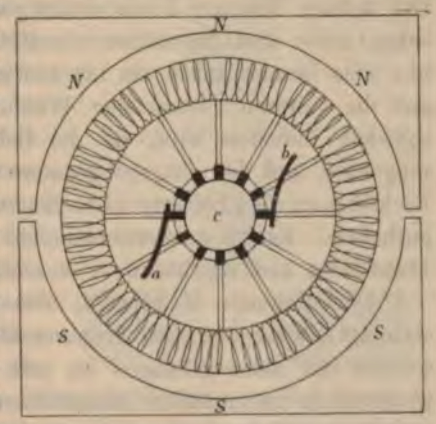
Wird jetzt der ganze Ring mit einem zusammenhängenden Draht umwickelt, so wird in jeder Windung ein Strom induziert, aber in der einen Hälfte der Windungen ist die Stromrichtung eine entgegengesetzte wie in der andern, es kann dann also kein Strom entstehen. Verbindet man aber die einzelnen Windungen oder gleichmäßig über die Ringoberfläche verteilte kleinere Gruppen dieser Windungen leitend mit Metallstücken, die konzentrisch um die Rotationsachse des Ringes gruppirt sind, und läßt man auf diesen zwei Metallfedern schleifen, die sich diametral gegenüber an den zwischen den Polen in der Mitte liegenden Stellen befinden, so vereinigen sich die beiden entgegengesetzten Ströme der Drahtwindungen zu einem durch die Schleiffedern in die äußere Drahtleitung gehenden kontinuierlichen Strome.

Nach diesem Prinzip konstruierte Pacinotti eine Reihe kleinerer magnetelektrischer Maschinen[1]), die erste 1861 für die Universität Pisa, welche 1871 auf der Wiener Weltausstellung zu sehen war, an denen sich die Brauchbarkeit des Prinzips durchaus bewährte, er stellte dieselben jedoch nicht in der Größe her, daß sie zur elektrischen Beleuchtung hätten gebraucht werden können, aber er zeigte an ihnen auch das Problem der Kraftübertragung, wovon weiter unten die Rede sein wird, und das gereicht ihm zur großen Ehre.

389. Für größeren Betrieb wurde diese Pacinottische Konstruktion erst geeignet, als Gramme das Siemenssche dynamoelektrische Prinzip mit dem Ringinduktor verband, 1868. Französische Schriftsteller haben sich bemüht, für Gramme auch das Verdienst der Erfindung des Ringinduktors in Anspruch zu nehmen, indem sie Pacinotti wohl die Idee, aber nicht die Ausführung des Ringinduktors zuschreiben, es beruht das vermutlich auf mangelhafter Sachkenntnis. Grammes Verdienst um die elektrischen Maschinen bleibt auch ohne dies wahrlich groß genug, es mag aber immerhin sein, daß er selbständig auf die Idee des Ringinduktors kam.

1) Nuovo Cimento 1863.

Zunächst muß es als ein Fortschritt betrachtet werden, daß Gramme seinen Eisenring aus einer großen Anzahl kleiner Eisendrähte konstruiert, da dadurch die fortwährende notwendige Veränderung des magnetischen Momentes in den verschiedenen Querschnitten des Ringes erleichtert wird. (Vergl. Doves Differentialinduktor pag. 422.) Sodann nutzt Gramme die Induktionskraft besser aus, indem er dem Querschnitt dieses Eisenkernes eine rechteckige Form giebt. Auf diesen Kern werden eine große Anzahl einzelner Drahtspulen gewickelt, deren Enden an radialen von einander isolierten Kupferplatten sitzen, die zu den Metallstücken auf der Rotationsachse führen. In der ganzen Hälfte der Spulen, die auf der oberen Seite des um eine horizontale Achse drehbaren Ringes sich befinden, ist die Stromrichtung die entgegengesetzte, wie in der unteren Hälfte. Man kann sich diesen Vorgang am besten so klar machen, daß man sich den Eisenkern als feststehend im magnetischen Felde denkt und die Spulen über ihn hingeschoben, dann hat man bei Annäherung einer Drahtspirale an einen Nordpol eine Richtung des induzierten Stromes, welche unverändert bleibt, bis die Spirale bis zur Mitte des Magnetstabes vorgerückt ist, dann ändert sich dieselbe bei weiterer Verschiebung. Die beistehende Figur zeigt ein Schema des Ringes. Von den Federn *a* und *b* erhält man also stets den gleich gerichteten Strom; diesen leitet Gramme zunächst durch die Windungen der zur Erzeugung der induzierenden Magnetpole gebrauchten Elektromagnete und von da geht der Strom in die äußere Leitung. Diese Elektromagnete sind auf besondere Art konstruiert. Zwei parallele horizontale Eisenstäbe stehen so weit von einander entfernt übereinander, daß zwischen ihnen der Ringinduktor Platz hat. Diese Stäbe sind von



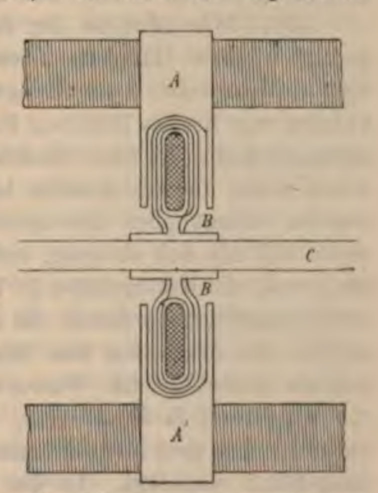
der Mitte aus nach beiden Enden hin so umwickelt, daß in jedem Stabe zwei entgegengesetzt gerichtete Magnete erzeugt werden beim Durchgange des Stromes, und zwar so, daß im unteren Stabe der Nordpol beider in der Mitte liegt, während beim oberen der Südpol in der Mitte liegt, oder auch umgekehrt, je nach der Stromrichtung. Auf die Mitten dieser horizontalen Eisenstäbe sind nun zwei vertikale Halbanker gesetzt, sodaß der obere nach unten, der untere nach oben gerichtet ist. Diese Halbanker sind ausgehöhlt und schliessen einen cylinderförmigen Hohlraum ein, in welchem der Ringinduktor rotiert. Um sich der dauernden Erhaltung von remanentem Magnetismus zu versichern, sind die beiden Halbanker durch zwei seitlich angebrachte Eisenplatten verbunden.

Diese Maschine liefert also kontinuierlichen Strom und leistet ganz Vorzügliches. Es muß jedoch noch bemerkt werden, daß bei dieser Darstellung der Wirkungsweise und Einrichtung der Maschine etwas außer Acht gelassen ist, was der Maschine unter Umständen Schwierigkeiten bereitet. Das ist die Induktion von seiten der Elektromagnete auf die Drahtspulen. Der äußere Teil der Drahtwindungen geht ja fortwährend zwischen zwei sich gegenüberstehenden entgegengesetzten Polen hin, also immer durch ein starkes magnetisches Feld, während auf die inneren Seiten der Windungen gar nicht oder nur schwach induziert wird, da der inducirende Pol des Elektromagneten und der entgegengesetzte Pol des Ringes in gleicher Richtung zu dem Leiterteilchen liegen, also ihre Wirkungen sich aufheben. Es ist so gewissermaßen die ganze innere Windung überflüssig und repräsentiert wesentlich nur Widerstand.

Der Versuch Merlings, diesen Vorwurf durch Heranziehung des sogenannten Transversalmagnetismus zu beseitigen, scheint mir nicht gelungen zu sein. Wenigstens ist bei den in Betracht kommenden Dimensionen, selbst wenn der Transversalmagnetismus auftreten sollte, derselbe immer so schwach. daß es bislang wohl noch nicht gelungen ist, denselben nachzuweisen, obwohl das doch nicht schwierig wäre, wenn er wirklich existierte. Wir müssen diesen Vorwurf daher als einen allerdings bestehenden Nachteil der Grammeschen Maschine anerkennen.

Es sind daher auch an der Grammeschen Maschine Verbesserungsversuche angestellt. Gramme selbst giebt eine Reihe Verbesserungsvorschläge an, wodurch die Maschine wesentlich stärkere Ströme liefern soll, allein so lange der Grammesche Ring in seiner unveränderten Gestalt angewendet wird, bleiben auch die Bedenken in demselben Maße bestehen. Es sei jedoch dabei bemerkt, daß die Stromstärke der praktisch von der Maschine gelieferten Ströme nicht geringer ist wie die irgend einer anderen Maschine, denn die Verbesserungen leiden an anderen Übelständen, die eine Vergrößerung der Stromstärke doch verhindern.

390. Von den Verbesserungen der Grammeschen Maschine sei nur eine besonders in Deutschland verbreitete Maschine genannt, die Schuckertsche. Die Anordnung der Elektromagnete ist dieselbe, wie bei Gramme, aber an die Stelle des breiten Ringes bei Gramme, tritt hier der sogenannte Flachring, wie in nebenstehendem Schema angedeutet ist. Das ermöglicht, den Ring fast ganz von den Halbankern umhüllen zu lassen, sodaß nur eine kurze innere Seite in dem oben bezeichneten Sinne hindernd wirken kann, allein durch die größere Ausdehnung der rotierenden Scheibe in der Richtung des Radius wird bewirkt, daß die Windungen, welche den Kern umschließen, nicht so nahe aneinander gebracht werden können und daher gegerade an der wirksamsten Seite des Ringes, an der äußeren Seite nämlich, ein großer Teil des Platzes verloren geht. In der obigen Figur ist C die Drehungsachse des Induktorringes $B\,B$, bei welchem die Drahtwindungen den in radialer Richtung liegenden Eisenkern umgeben, die Anker mit ihren Ausschnitten sind durch A und A' angedeutet.



Eine andere Verbesserung von Heinrichs an der Gramme-

schen Maschine besteht darin, daß der Eisenkern eine solche Form erhält, daß sich sein Querschnitt als ein nach der Drehungsachse zu gerichtetes offenes Hufeisen repräsentiert, wodurch ebenfalls der oben erwähnte Übelstand der inneren unwirksamen Fläche beseitigt werden soll.

Ein wesentlich anderes Prinzip befolgt Brush in seiner besonders in Amerika und England verbreiteten Maschine. Der Eisenring besteht aus einer Anzahl konzentrischer Eisenringe, welche in acht radialen Ausschnitten acht einzelne Drahtspulen tragen, die so mit einander verbunden sind, daß je zwei gegenüberliegende zu einem Leiterkreise vereinigt sind. Einen solchen Ring läßt Brush zwischen je zwei parallel nebeneinander liegenden Elektromagneten rotieren, sodaß an jeder Seite der Achse rechts und links je ein Elektromagnet liegt, und jede Hälfte des Ringes zwischen zwei sich gegenüberstehenden entgegengesetzten Polen rotiert.

391. Wir sind so der Entwickelung des Ringinduktors gefolgt in ihren Hauptzügen, es knüpfen sich daran aber noch einige historische Anmerkungen. Nach der Angabe Fontaines war bereits 1852 von Page[1]) in Washington eine elektromagnetische Maschine konstruiert, die von der Pacinottischen wenig abwich, dieselbe hat zur Kraftübertragung benutzt werden sollen, aber die damit getriebene Lokomotive stand mehr still als daß sie ging, und nehme ich an, dass deswegen auch wohl die Konstruktion in Vergessenheit geraten ist. Weit mehr Beachtung verdienen die Ansprüche von Worms de Romilly, die dieser auf fast alle modernen Maschinenideen zu machen berechtigt ist. Worms de Romilly bewarb sich 1866 um ein Patent in Frankreich, welches eigentlich drei Patente enthielt. Alle drei Modifikationen sind von ihm damals bereits ausgeführt vorgelegt. In der Patentbeschreibung findet sich freilich ein wunderbares Quid pro quo. Es scheint, der Erfinder sei ausgegangen von den Erscheinungen, die wir beim Rotationsmagnetismus kennen gelernt haben, daß nämlich in einer vor einem Magnetpol rotierenden Scheibe Ströme in der-

1) Vergleiche auch die Originalbeschreibung in Sillim. Journ. New. Ser. XI. 1851 und XII. 1851.

selben induziert werden, die von Arago entdeckt, von Faraday und Nobili (siehe pag. 397 ff.) erklärt waren.

Heute pflegt man diese Strömungen mit dem Namen Foucaultsche Ströme zu bezeichnen, man könnte sie gerade so gut Faradaysche nennen; beide Männer haben nämlich das Verdienst, die Existenz, Wirksamkeit und Bedeutung derselben gezeigt zu haben, nachdem Gauß und Weber diese Ströme praktisch bereits beim Dämpfer (siehe pag. 430) benutzt hatten. Die durch die Bewegung induzierten Ströme suchen die Bewegung zu hemmen, die hierdurch verloren gegangene Bewegung setzt sich in Wärme um. Diese Wärmewirkung zeigte Foucault an der Erhitzung eines stark rotierenden Kupfercylinders zwischen zwei entgegengesetzten Elektromagnetpolen, während Faraday darauf aufmerksam machte, daß eine zwischen den Polen rotierende Scheibe sich bewege wie in einem widerstandleistenden Mittel. Er war auch der erste, welcher die Drehung eines kupfernen Würfels durch einen Magneten aufhielt. Der erste Versuch zur Erzeugung der Wärme rührt von Joule her, 1843[1]). Man sollte den Namen Foucaultsche Ströme daher besser fallen lassen.

Von diesen Strömungen meint Worms de Romilly, kann man eine Verstärkung erhalten, wenn man statt der Scheibe Drahtspulen nehme und den Kern aus einer Eisenröhre bilde. Sobald das aber geschieht, haben wir es in Bezug auf den Eisenkern eben nicht mehr mit jenen Strömen zu thun, sondern mit Induktionsmagnetismus, während die gleichzeitige Existenz jener Ströme gerade ein großes Hemmnis für alle Maschinen bildet, womit wir uns gleich bei der Siemensschen Maschine zu beschäftigen haben. Genug, Worms de Romilly umwickelt einen hohlen Eisenring mit einzelnen Drahtwindungen und läßt diesen Ring vor einer Anzahl einzelner Magnetpole rotieren, die so gruppirt sind, daß auf dem einen Halbkreise lauter Südpole, auf dem andern lauter Nordpole liegen. Um aber eine wesentliche Verstärkung der magnetischen Wirkung zu erzielen und die beim Grammeschen Ringe auftretenden Störungen von der inneren Fläche zu vermeiden, bringt der Erfinder auf der

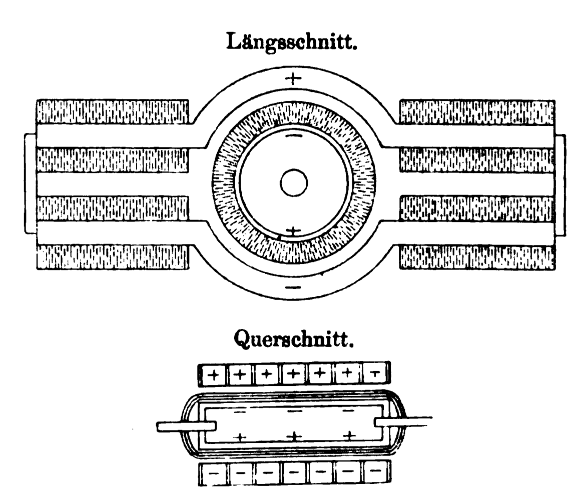
---

1) Phil. Mag. Ser. 3. Bd. 23. pag. 355 und 439.

inneren Seite des Ringes ebenfalls Magnetpole an und zwar stehen sich zu beiden Seiten des Ringes außen und innen gleichartige Pole gegenüber.

In dem Patent ist aber noch eine andere Konstruktion angemeldet und die ist als Vorläufer der Trommelmaschine, von welcher gleich die Rede sein wird, beachtenswert. Auf einen langen hohlen Eisencylinder wickelt Worms de Romilly vier einzelne Drahtspulen, sodaß die Längsrichtung der Drähte parallel ist der Achse des Cylinders. Es ist also diese „Trommel“ eine Veränderung des Siemensschen Cylinderinduktors, in dem Sinne, daß nicht eine Spule vorhanden ist, sondern deren vier, und die Gesamtheit der Windungen im Querschnitt ein regelmäßiges Achteck umschließt. Ein solcher Trommelinduktor rotiert in den ausgehöhlten Polen eines Magnetes.

392. Diese letzte Form ist gewissermaßen die Übergangsform zu der v. Hefner-Alteneckschen, von Siemens konstruierten, Trommelmaschine (1872). Auf einen hohlen Eisencylinder sind eine größere Anzahl Drahtspulen gewickelt, sodaß



die Ebene jeder Windung die Achse des Cylinders enthält. Für jede Windung gilt also das für die erste Siemenssche Maschine mit Cylinderinduktor gesagte. Fassen wir, wie es annähernd auch richtig ist, eine Windung als ein Rechteck auf, bei welcher die

Längsseiten parallel der Achse des Cylinders sind, und lassen ein solches Rechteck rotieren zwischen zwei Magnetpolen (oder Elektromagnetpolen), sodaß die Längsseiten sich den Polen nähern und dann davon entfernen, so wird während einer halben Umdrehung durch den oberen Pol ein Strom nach einer Richtung induziert, während gleichzeitig durch den unteren nach entgegengesetzter Richtung induziert wird, also in jedem Augenblick durchläuft dies Rechteck ein Strom, der sich aus den beiden Impulsen im oberen und unteren Teile zusammensetzt. Nach einer halben Umdrehung ändert sich die Stromrichtung in jeder der beiden Längsseiten, d. h. es ändert sich bei gleichbleibender Stromstärke die Richtung des Stromes. Es liefert eine solche Maschine also ohne einen Kommutator Wechselströme, mit einem Kommutator analog dem schon beschriebenen gleichgerichtete Ströme. Bei dieser Maschine ist nun die Erwärmung des Cylinders eine ziemlich bedeutende, und deswegen ist sie in neuerer Zeit so konstruiert, daß durch geeignet angebrachte Luftlöcher ein fortdauernder Zufluß kälterer Luft stattfindet, wodurch Abkühlung erreicht wird. Um recht wirksame Pole zu haben, führt Siemens einen vierfachen Elektromagneten ähnlich dem Grammeschen aus, wie ihn die Skizze zeigt; in dem oberen Elektromagneten sind die Drahtwickelungen so eingerichtet, daß die durch sie gebildeten Magneten ihre Nordpole beide zur Mitte kehren, sodaß die Trommel hier vor einem kräftigen Nordpol rotiert, während im unteren beide Südpole zur Mitte gerichtet sind; durch die seitlichen Eisenlamellen ist der Kreis der vier Elektromagnete völlig geschlossen, die dadurch hervorgerufene Magnetisierung des Eisencylinders ist durch Zeichen angedeutet. Bei dieser Maschine sind nur die kurzen vertikalen Drahtenden unwirksam, was ein Vorzug gegenüber der Grammeschen ist.

Diese Siemenssche Maschine, wie sie gewöhnlich genannt wird, und die in ihrer ersten Gestalt eine ziemlich komplizierte Verbindung der verschiedenen Spulen zu einem Kreise hatte, ist in Bezug auf Wickelung und Verbindung später noch mehrfach umgeändert und hat ihren Abschluß wohl erhalten in der 1878 gegebenen Form, welche ich im vorstehenden skizziert habe.

Bei der ältesten in Wien 1873 ausgestellten Maschine war der innere Eisenkern fest an einer unbeweglichen Achse, die Drahtwickelung befand sich nicht direkt auf dem Eisencylinder, sondern auf einem diesen umschließenden Gehäuse aus Neusilber oder Messing, und nur dies Gehäuse mit den Drahtspulen war drehbar. Dadurch war ein sehr kräftiges magnetisches Feld hergestellt, durch welches die Drahtwickelung ging, und infolge dessen war eine sehr große Wirkung damit zu erzielen, zumal nicht die Erwärmung des Induktorkernes in dem Maße in Frage kam, wie bei der Grammeschen Maschine, wo der Eisenkern fortdauernd seinen Magnetismus verändert, hier blieb der Magnetismus des Kernes konstant. Allein die Konstruktion war eine zu komplizierte, als daß sie sich auf die Dauer bewährt hätte, deswegen ging Siemens zur direkten Bewickelung des Eisencylinders über.

393. Diese Maschine ist dann wieder für viele andere das Vorbild gewesen, so besonders für die Edisonsche; ich glaube über diese verschiedenen Arten weggehen zu sollen, sie sind in der Unzahl von Büchern über elektrisches Licht, elektrische Maschinen etc., die heutzutage den Büchermarkt überfluten, mit mehr oder weniger Geschick fast alle getreulich beschrieben. Prinzipiell ist bei den meisten dieser Maschinen nichts Neues zu bemerken, nur technische Anordnungen sind die Unterschiede und das haben sie wieder alle gemein, daß jeder Konstrukteur von der seinigen behauptet, sie überträfe alle andern. Um dies glaubhaft zu machen, werden in der Regel eine Anzahl Beobachtungen beigebracht, allein die verdienen an und für sich noch keine Berücksichtigung, es kommt denn doch wesentlich auf die Unbefangenheit und Fähigkeit der Beobachter an. Zunächst wäre es jedenfalls wichtig, eine definitive Entscheidung zwischen den beiden Grundtypen: Siemens und Gramme, zu finden, allein die in der Beziehung angestellten Versuche[1]) der Militär-Ingenieurschule von Chatham in den Jahren 1879/80 scheinen doch nicht mit der Akkuratesse und wissenschaftlichen Sicherheit ausgeführt zu sein, welche zu einer definitiven Ent-

1) Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin. 1881. Febr. pag. 67 und März pag. 105.

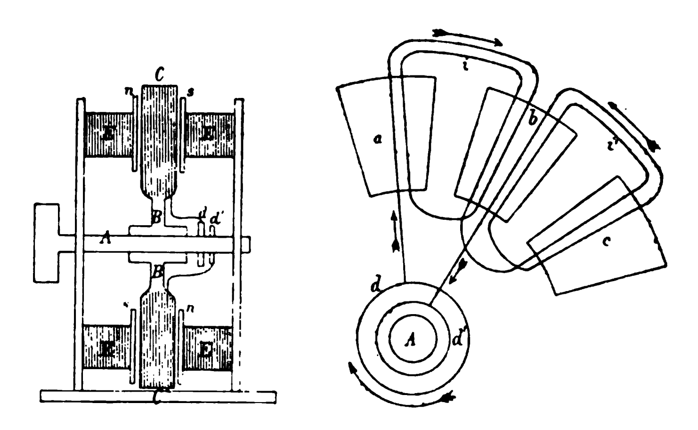
scheidung wirklich nötig ist. Es ist auch in der That, trotz dieser Versuche in England, welche einen ganz bedeutenden Vorzug der Grammeschen Maschine vor der Siemensschen behaupten, die Siemenssche Konstruktion in England nicht verdrängt worden. Zu einem definitiven Urteilsspruche scheint mir die Zeit überhaupt noch nicht gekommen.

394. Diese bisher von mir besprochenen Maschinen hatten nun vor allen den Zweck, einen stets gleich gerichteten Strom zu erzeugen, aber es ist, wie bereits erwähnt, für die Jablochkoffschen Kerzen nötig, eine Wechselstrommaschine zu haben, damit die Kohlen gleichmäßig abbrennen. Wenn nun auch durch einen Kommutator jede Gleichstrommaschine zu einer Wechselstrommaschine und jede Wechselstrommaschine zu einer Gleichstrommaschine gemacht werden kann, so ist eine überflüssige Arbeitsleistung ja ein großer Nachteil einer Maschine, und es ist, da vor allem die Stromrichtungen in den Drahtwickelungen immer Wechsel durchzumachen haben, besser, von vornherein Wechselstrommaschinen herzustellen. Wir sehen beide, Siemens und Gramme, eine solche Maschine konstruieren.

Die erste war die von Siemens.[1]) An einer horizontalen Achse A ist eine vertikale Scheibe B befestigt, welche an ihrem Kranze eine größere Anzahl Spulen C trägt. Diesen Spulen liegen zu beiden Seiten eine gleiche Anzahl Elektromagnete EE, deren Achsen horizontal sind, gegenüber, so zwar, daß immer ein Nordpol einem Südpol gegenübersteht, sodaß ein sehr kräftiges magnetisches Feld gebildet wird. Die Spulen sind auf Holzkerne gewickelt, denn da der Kreis der feststehenden Elektromagnete, vor denen die Spulen rotieren sollen, alternierend Nordpol und Südpol den Spulen zuwendet, würden die Eisenkerne beim Passieren vor den Polen fortwährend ihre Polarität ändern und es würden teils Störungen, teils sehr empfindliche Erwärmungen die Folge sein. Da der rechts von der Spule liegende Nordpol gerade so wirkt, wie der links liegende Südpol, ist es nur nötig, einen Polkreis zu betrachten. Zur Demonstration der Wirkungsweise einer solchen Maschine diene der nebenstehende Teil eines Vertikalschnittes. Seien

1) Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin. 1881. März pag. 163.

a, *b*, *c* drei aufeinanderfolgende Pole, also *a* und *c* Nordpole und *b* Südpol. Betrachten wir den Augenblick der Bewegung, wo die an der Drehungsachse schematisch gezeichneten Spulen *i* und *i'* sich mit ihren Kernen gerade in der Mitte zwischen



zwei Polen befinden, dann wird doch in Spule *i* ein Strom in dem angegebenen Sinne entstehen, während in *i'* die Richtung des Stromes entgegengesetzt ist, mache ich also den Endpunkt von Spule *i* zum Anfangspunkt von Spule *i'*, so verstärken sich die beiden Stromimpulse. Dasselbe wird stets bei zwei nebeneinanderliegenden Spulen eintreten, und wenn alle Spulen auf diese Weise nach Paaren geordnet sind, werden alle Paare gleichzeitig von gleichgerichteten Strömen durchlaufen sein. Werden also alle Anfangspunkte der Spiralenpaare auf einem Metallreifen *d* auf der Achse liegen, alle Endpunkte auf einem andern, *d'*, so werden diese beiden Reifen den Strömen aller Spulen als gleichwertige Pole nach außen dienen. Nun ändert sich die Stromrichtung in jeder Spule, sobald der Kern gerade die Mitte eines Poles passiert, daher hat man während einer Umdrehung soviel Stromwechsel, wie Spulen oder Pole da sind.

Ehe ich zur Grammeschen Konstruktion übergehe, will ich noch erwähnen, daß auf diesem Prinzip fußend v. Hefner-Alteneck 1881 [1]) eine neue Art der Gleichstrommaschinen kon-

1) Elektrotechnische Zeitschrift. 1881. Mai. pag. 165.

struierte, indem er mehr Spulen wie Magnetpole anwendet, dann werden bestimmte Spulen nacheinander in dieselbe Zone eines magnetischen Feldes treten, also in gleicher Weise beeinflußt werden; verbindet man die Drahtenden dann so, daß jene hintereinander eingeschaltet werden, sodaß die einzelnen Impulse für die verschiedenen Spulen sich in jedem Augenblicke summieren, so hat man eine Gleichstrommaschine.

395. Bei der Grammeschen Wechselstrommaschine[1]) haben wir uns seines Ringes zu erinnern. Er läßt jetzt den Ring feststehen und teilt ihn in eine Anzahl gleicher Bogenstücke, auf jedes Bogenstück windet er eine Anzahl gleicher Drahtgruppen, sodaß, wenn er m Bögen hat und auf jedem n Gruppen, er im ganzen $m.n$ einzelne Spulen hat, die er nun so verbindet, daß alle ersten Spulen auf den verschiedenen Bögen, dann alle zweiten, alle dritten etc. zu je einem Kreise vereinigt sind, sodaß er also n Kreise bildet, diese schließen durch Klemmen an n äußere Leitungskreise an. Innerhalb dieses so konstruierten Ringes sind radial auf einer Drehungsachse m Elektromagnete angebracht, deren Pole alternieren, sodaß abwechselnd Nord- oder Südpol vor den Spulen des Ringes fortlaufen, und hier deswegen Induktionsströme mit wechselnder Richtung hervorrufen.

Während Wechselströme für Kerzen nötig sind, können sie für die Differenziallampen verwendet werden, dann gilt das, was ich über den von einer solchen Lampe ausgesendeten Lichtkegel gesagt habe, nicht, sondern dann befindet sich die größte Lichtintensität auch bei einer Bogenlampe in horizontaler Richtung.

Alle Wechselstrommaschinen nun, welche auf die Benutzung von Stahlmagneten, wie sie bei der Alliancemaschine angewendet werden, verzichten, müssen zur Erzeugung ihrer Elektromagnete eine besondere kleine Gleichstrommaschine verwenden und erhöhen dadurch die für die Maschine notwendige Arbeitsleistung und deshalb natürlich die Anschaffungs- und Betriebskosten.

---

1) In Bezug auf alle Grammeschen Erfindungen entnehme ich die Angaben den beiden Werken: Fontaine, die elektrische Beleuchtung, und Merling, elektrische Beleuchtung. 1882.

Um die doppelten Maschinen zu vermeiden, fügt Gramme noch eine Verbesserung hinzu, indem er auf dieselbe Achse, auf welcher die Elektromagneten gedreht werden, den beweglichen Ring einer Gleichstrommaschine mitaufsetzt und den hier erzeugten Strom nun gleich für seine beweglichen Elektromagnete der Wechselstrommaschine verwendet.

396. Außer den schon besprochenen Maschinen möchte ich noch die Bürginsche kurz erwähnen, da sie in Süddeutschland und der Schweiz und in neuerer Zeit auch in England mit gutem Erfolg angewendet ist. Die festen Elektromagnete sind nach Art der Siemensschen eingerichtet und der Induktor ist nach Art des Pacinottischen Ringes mit einer für ihn charakteristischen Wickelung eingerichtet. Es repräsentiert diese Maschine also eine Gleichstrommaschine.

Ich glaube im Vorstehenden die Hauptmomente der Entwickelung der elektrischen Maschinen gegeben zu haben, eine Aufzählung aller verschiedener Repräsentanten zu geben, lag nicht in meiner Absicht und wird auch von einer so zusammengedrängten historischen Skizze nicht erwartet werden können. Es erübrigt noch einige Worte über die Anwendung der Maschinen zuzufügen.

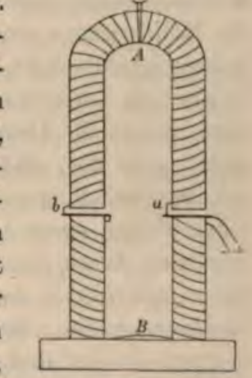
397. Wenn man von elektrischen Maschinen redet, so denkt der Hörer sicher zunächst nur an eine Aufgabe, welche diese Apparate haben, nämlich Ströme für elektrische Beleuchtung zu liefern, und doch war dies ursprünglich durchaus nicht die Aufgabe derselben und ist auch heute nur ein sehr beschränkter Teil ihrer Anwendung. Wie Pixii und mit ihm seine Nachfolger gar nicht an Erzeugung des elektrischen Lichtes dachte, als er seine erste Maschine konstruierte, sondern vielmehr das eminent wissenschaftliche Prinzip der Umsetzung von Arbeit in Elektrizität löste, so hat auch, wie erwähnt, Pacinotti mit seinem Ringe diese Prinzipienfrage im Auge gehabt, und wenn ich nun gar an Siemens' Arbeiten erinnere, so tritt da der Zweck der Lichterzeugung zunächst ganz in den Hintergrund.

In der That war die erste magnetelektrische Maschine, welche Siemens[1]) noch vor Erfindung seines Cylinderinduktors

1) Wiedem. Annal. Bd. 14. 1881. pag. 472.

baute, die 1855 in London in der Industrieausstellung zu sehen war und gegenwärtig dem Berliner Postmuseum einverleibt ist, eine Maschine, die den ausgesprochenen Zweck hatte, starke Ströme für telegraphische Zwecke zu liefern, gleichzeitig aber auch das Problem der Krafttransmission lösen sollte.

Das Prinzip der Kraftübertragung auf elektrischem Wege mag durch Folgendes erklärt werden. Die Aufgabe erfordert zwei Maschinen, eine primäre und eine sekundäre, oder eine magnetelektrische (dynamoelektrische) und eine elektromagnetische (Kraftmaschine). Ich werde im folgenden die erste Bezeichnungsweise anwenden. Die primäre Maschine hat den Zweck, einen starken Strom zu erzeugen, sie kann also eine der vorher beschriebenen Gleichstrommaschinen sein, einerlei ob magnetelektrisch oder dynamoelektrisch. Dieser Strom wird in die sekundäre Maschine geleitet und geht um den in Hufeisenform gebogenen beweglichen Eisenkern *A*, diesen zu einem Magneten machend, von da geht der Strom durch einen Federkontakt *b* um ein zweites feststehendes Hufeisen *B* in Windungen herum, sodaß auch hier Magnetpole erzeugt werden. Nun dreht sich der bewegliche Magnet *A* so, daß er seine Pole über die ungleichnamigen von *B* zu stellen sucht; in dem Augenblick, wo dies erreicht wird, müssen nun die Federn *a* und *b*, welche *A* den Strom zuführen, ihre Polarität ändern, d. h. sie müssen auf einer Art Kommutator schleifen, sodaß nach jeder halben Umdrehung ein Richtungswechsel für den Strom um *A*, also ein Polwechsel in *A* eintritt. Auf diese Weise erzeugt sich ein konstanter Kreislauf.



398. Was ich hier für einen feststehenden Elektromagneten gesagt habe, läßt sich auch für feste Stahlmagnete anwenden, oder auch für solche Elektromagneten, welche durch einen besondern Strom erzeugt werden. Und das ist die erste Anwendung gewesen, welche Jacobi[1]) 1835 bereits von den

---

1) Vgl. Pogg. Annal. Bd. 31. p. 367. Bd. 51. p. 358.

Maschinen machte. Offenbar läßt sich nun jede der beschriebenen Gleichstrommaschinen zu diesem Zweck verwenden, denn nach dem Prinzip der Maschinen tritt ja von selbst ein Stromwechsel bei der Rotation nach jeder halben Umdrehung ein. Man hat damit also in der That die Möglichkeit, eine irgendwo vorhandene Kraft, welche an Ort und Stelle eine primäre Maschine treibt, durch den hier erzeugten Strom an eine beliebig entfernte Stelle zu leiten und dort wieder eine Bewegung in einer Maschine hervorrufen zu lassen.

Eine andere Möglichkeit, durch den Strom Bewegung zu erzeugen, wäre, daß man, wie Page 1850 thut, den Strom durch eine Spirale leitet und einen Eisenstab zunächst in die Spirale hineinziehen läßt, um ihn nach Kommutation wieder herauszustoßen, dann macht der Eisenstab eine Bewegung wie die Kolbenstange einer Dampfmaschine. Da diese Anordnung weniger praktisch ist, hat sie keine weitere Verbreitung gefunden, ist aber als Vorlesungsapparat zur Demonstration sehr geeignet. Eine andere für Demonstrationszwecke höchst brauchbare Anordnung ist die, daß man zwei Hufeisen aus weichem Eisen mit Drahtwindungen einander horizontal gegenüberstellt, zwischen beiden einen Anker, der um eine oberhalb der Hufeisen liegenden Achse drehbar ist, aufhängt. Dieser wird, wenn der Strom alternirend durch den einen, dann durch den anderen Elektromagneten geht, eine pendelnde Bewegung ausführen und dadurch ein Rad drehen können. Durch die Drehung des Rades kann dann die Kommutation des Stromes automatisch erzeugt werden.

399. Die großartigste Ausführung einer Krafttransmission zeigt die elektrische Eisenbahn, die zum erstenmale 1879 auf der Gewerbeausstellung in Berlin von Siemens ausgestellt war. Da damals die Wagen auf einer Kreisperipherie umlaufen sollten, machte Siemens die Einrichtung so, daß neben den beiden gewöhnlichen Schienen eine Mittelschiene die Stromzuführung besorgte, während die beiden festen Rückleiter waren. Bei der berühmten Bahn nach Lichterfelde[1]) 1881 war diese Mittelschiene verschwunden und die eine besorgte die Zuleitung,

1) Elektrotechn. Zeitschr. Mai 1881. p. 178.

die andere die Rückleitung. Die Bewegung der Wagen geschieht dann so, daß der Strom von der einen Schiene durch die von der Achse isolierten Radkränze zu der auf dem Wagen selbst befindlichen kleinen Kraftmaschine geführt wird, hier die Bewegung hervorruft, und durch die Radkränze der anderen Seite auf die zweite Schiene zurückgeleitet wird. Da die Kraftmaschinen klein und nicht schwer sind, ist die Ersparnis an mitzubewegender Masse gegenüber den Dampfmaschinen sehr groß. In Paris endlich stellte Siemens 1881 die Zuleitung und Ableitung durch zwei oberhalb der Bahn liegende Kabel her, die hohl waren und in deren Inneren ein Schlitten sich fortschob, um den Strom in die Maschine zu leiten. Perry endlich führt den Strom seitlich durch ein Kabel ins Innere der Schiene, auf welcher der Wagen sich befindet.

Es ist diese Eisenbahn nur ein drastisches Beispiel der Kraftübertragung, auch in anderen Fällen ist die Anwendung von elektromagnetischen Kraftmaschinen mit Erfolg ausgeführt, so zum Pflügen, zu Elevatoren etc., besonders zu solchen Arbeiten, die während der Tageszeit zu verrichten sind, dann kann ein und dieselbe stromerzeugende Maschine am Tage eine Kraftmaschine speisen, um abends elektrische Lampen zu versorgen. Natürlich ist eine solche Kraftübertragung nur da mit Nutzen anwendbar, wo spezielle Gründe vorliegen, daß eine direkte Maschine nicht verwendbar ist, oder wo man eine billige Kraftquelle in der Nähe hat. So berechnete Thomson, daß die Kraft des Niagarafalles durch 13 ^{mm} dicke Leitungsdrähte bis auf eine Entfernung von 500 englische Meilen könne versandt werden.

Daß die Kraftmaschinen nicht allgemein anwendbar sind, also die Dampfmaschinen nicht ohne weiteres verdrängen können, ist durch den selbstverständlich auftretenden Verlust von Kraft bedingt, der sich erstens bei der doppelten Übertragung von der Bewegungsquelle (Wasserräder, Dampfmaschinen) auf die elektrische Maschine I, und von der elektrischen Maschine II auf die zur Verwendung kommen sollende Maschine ergiebt, und der sich besonders bei der Umwandlung von Bewegung in Strom und umgekehrt, durch Erwärmung der Leiter nicht nur durch den gebrauchten Strom, sondern ganz besonders durch

die in dem Eisenkern des Ankers induzierten Ströme, gar nicht vermeiden läßt.

400. Die Theorie der Dynamomaschinen, sowie der speziellen Anwendung derartiger Maschinen als Kraftmaschinen, hat mit der technischen Entwickelung nicht gleichen Schritt gehalten und ist heutzutage auch noch durchaus nicht zu einem fertigen Resultat gekommen. Trotzdem werde ich, wenn auch in gedrängtester Kürze, wenigstens die Hauptschritte in dieser Richtung zu skizzieren suchen. Die ersten Arbeiten in dieser Richtung sind ausschließlich für die Grammesche Maschine gemacht, wo die Drahtwickelung des Ringes in sich geschlossen nach außen einen Zweigstrom abgiebt, der die festen Elektromagnete durchläuft und von da in die äußere Leitung geht.

Hagenbach[1]) führte zuerst 1876 Messungen an einer solchen Maschine aus, und prüfte das Verhältnis der Stromstärke zur Tourenzahl der Maschine. Er untersuchte i (die Stromstärke) für Tourenzahlen $n = 250$ bis $n = 1500$. Unter Tourenzahl versteht man allgemein die Anzahl der Umdrehungen in einer Minute. Es soll sich aus jenen Versuchen ergeben, daß i nahezu proportional n ist, also daß etwa die Gleichung besteht $n = a + b\,i$. Hagenbach giebt aber nicht die vollständige Tabelle, und beobachtet auch nur für wenig verschiedene Widerstände, nämlich $w = 1{,}88$, $2{,}38$ und $3{,}88$.

Darum sind diese Versuche von O. E. Meyer und Auerbach[2]) wieder aufgenommen. Sie konstatieren, daß eine Proportionalität nur für bestimmte Grenzen der Tourenzahlen existiert, daß für größere Tourenzahlen ein solches Gesetz aber nicht besteht und oft die Abweichungen von demselben ganz erheblich sind. Sie versuchen die Formel $n = \frac{a\,i}{b + \operatorname{arc\,tg} i}$, wo b sachlich den remanenten Magnetismus der Maschine bedeutet. Allein auch diese Formel entspricht nur bis zu 250 Touren genau den Beobachtungen. Darauf untersuchen Meyer und Auerbach den Einfluß der Stromverzweigung und finden die Formel

$$a_0\, i = \frac{n}{w}\,(m + \operatorname{arc\,tg} i + k \operatorname{arc\,tg} i_1),$$

1) Pogg. Annal. Bd. 158. 1876. pag. 599.
2) Wied. Annal. Bd. 8. 1879. pag. 494.

indem die beiden Hälften des Ringes als zwei Stromzweige mit den elektromotorischen Kräften E, den Widerständen w_1 und w_2 und den Stromstärken i_1 und i_2 betrachtet werden, während die entsprechenden Größen außerhalb der Maschine, wo kein E anzunehmen ist, mit dem Index o versehen sind und w einen Ausdruck bedeutet $= w_0 + \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$. Es ergiebt sich daraus die angenäherte Formel

$$n = \frac{a_0 w \left(\frac{1}{\alpha + \beta w}\right)}{m \left(\frac{1}{\alpha + \beta w}\right) + \operatorname{arc\,tg} i}.$$

Nachträglich teilte Hagenbach jenen beiden Experimentatoren mit, daß seine vollständige Beobachtungsreihe sich mit der ihrigen decke. Trotzdem ist auch durch diese Untersuchungen, selbst wenn sie allgemein für die Grammesche Maschine gelten sollten, noch kein Abschluß geboten.

Eine andere Frage war die des Ansteigens der Kraft der Dynamomaschinen; die behandelt Herwig.[1] Wir haben gesehen, die Maschine erzeugt zunächst ihren Strom selbst durch allmähliche Verstärkung; ist die endliche Stromstärke i, der Gesamtwiderstand R, M eine dem schließlich erreichten Magnetismus proportionale Funktion und a, b, c Konstante, setzt man dann angenähert $M = a - \frac{b}{i^2}$, so ist

$$i R = n \left(a - \frac{b}{i^2} + c i\right).$$

Will man die zeitliche Ausbildung der Ströme haben und bezeichnet mit P und c_1 neue Konstanten, so ist, wenn t die Zeit bedeutet,

$$i R = \frac{n M R}{R - n c_1} \left(1 - e^{\frac{-R - n c_1}{P} t}\right).$$

Mit der von ihm benutzten Maschine erreichte Herwig das Maximum des Magnetismus bei einer Stromstärke von $4{,}4 \frac{\text{Grove}}{\text{Siemens}}$ (d. h. die elektromotorische Kraft eines Grove $= 1$ gesetzt und der Widerstand nach Siemensschen Einheiten gemessen).

---

1) Wied. Annal. Bd. 7. 1879. pag. 193.

An demselben Mangel wie Hagenbachs theoretische Erörterungen leiden die Untersuchungen von Mascart und Angot[1]), sie können keinen Aufschluß liefern. Die beiden letzten Experimentatoren beschäftigen sich auch mit der Arbeitsleistung der Grammeschen Maschine, desgleichen W. Thomson.[2]) Doch kamen sie alle nicht über spezielle Berechnungen für das jedesmal betrachtete Exemplar hinaus.

401. Die wichtigste Arbeit in dieser Richtung ist wohl die von O. Frölich[3]), welche derselbe in der Fabrik von Siemens und Halske in ihrem experimentellen Teil erledigte. Bezeichnet J die Stromstärke, n die Anzahl der Windungen auf dem Anker (beweglicher Eisenkern, bei Gramme der Ring, bei Hefner-Alteneck der Cylinder), w den Gesamtwiderstand, v die Tourenzahl und endlich bei einer magnetelektrischen Maschine M das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte zur Tourenzahl d. h. den wirksamen Magnetismus oder die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche die permanenten Magnete und das Eisen des Ankers auf eine Windung des Ankers bei der Tourenzahl 1 ausüben, so ist

$$J = \frac{n \cdot M \cdot v}{w}.$$

Für die Dynamomaschine ist nur zu Anfang, wenn der remanente Magnetismus wirkt, diese Gleichung so zu gebrauchen, sonst ist $M = f(J)$, d. h. eine Funktion der Stromstärke. Schreibt man die Fundamentalgleichung $\frac{J}{n \cdot M} = \frac{v}{w}$, und setzt $n M = c J - \varphi(J)$, wo $\varphi(J)$ die Abweichung von der Proportionalität bedeutet, so ist

$$\frac{v}{w} = \frac{1}{c - \frac{\varphi(J)}{J}},$$

d. h. für eine bestimmte Stromstärke ist die Tourenzahl um so kleiner, je kleiner (J) ist. Für die Praxis wird man also die Stromstärke als lineare Funktion des Verhältnisses von Tourenzahl zum Widerstand ansehen können. Frölich wendet sich

1) Journal d. Phys. Bd. 7. 1878. pag. 89.
2) Journal d. Phys. Bd. 6. 1877. p. 240.
3) Elektrotechnische Zeitschr. 1881, April. pag. 134 u. Mai. pag. 170.

dann dazu, den Einfluß der Wickelung auf das Maximum des erreichbaren wirksamen Magnetismus zu bestimmen und findet eine Gleichung, welche gestattet, aus gegebener Wickelung den wirksamen Magnetismus zu berechnen.

Dann wendet er sich zu der Frage nach der Arbeitskraft einer Dynamomaschine. Da ist zunächst nach dem seinerzeit erwähnten Jouleschen Gesetze die in der Sekunde verbrauchte Arbeit in der Maschine

$$= A = c \,.\, J^2 \,.\, w;$$

wo c eine Konstante ist, nach Kohlrausch = 0,00181, oder da $J \,.\, w = E$ ist, $A = c \,.\, J \,.\, E$. Dabei ist noch nicht die Faradaysche Induktion der sogenannten Foucaultschen Ströme beachtet, die überwunden werden müssen, und die proportional dem Quadrat der elektromotorischen Kraft sind, dann ist die Formel

$$A = c J \,.\, E + p\, E^2.$$

Dies giebt die Möglichkeit, auch die Kraftübertragung zu behandeln. Sind die primäre und sekundäre Maschine gleich und stehe der Kommutator in beiden ebenfalls gleich, so würde sich ohne Berücksichtigung der Foucaultschen Ströme ein Nutzeffekt, d. h. ein Verhältnis der elektromotorischen Kräfte, in 2 und 1 ergeben von nahezu 90%. Das widerspricht aber der Erfahrung. Zu berücksichtigen sind die entgegenstehenden Foucaultschen Ströme, welche der Stromrichtung in 1 gleichgerichtet, in 2 entgegengerichtet sind. Bezeichnen wir die verschiedenen Größen für die erste Maschine mit dem Index 1, die für die zweite mit dem Index 2, so ergiebt sich

$$A_1 = c \,.\, J \,.\, E_1 + p \,.\, E_1^2; \; A_2 = c J E_2 - p \,.\, E_2^2;$$

$$N = \frac{A_2}{A_1} = \frac{E_2}{E_1}\left\{1 - \frac{p}{cJ}(E_1 + E_2)\right\}; \; S = c J (E_1 - E_2)$$

von N der Nutzeffekt, S die vom Strom im ganzen Kreise erzeugte Wärme ist. In dem Fröhlichschen Beispiel ist c nicht gleich 0,00181 zu setzen, sondern 0,00163 und $p = \frac{7{,}5}{n^2}$. Dann stimmen die berechneten Werte mit den beobachteten hinlänglich gut überein.

Drittes Kapitel.

Geschichtliche Entwickelung der Telegraphie.

[illegible] Die Aufgabe, möglichst schnell und bei möglichst geringer Kraftentfaltung Nachrichten entfernten Menschen zu geben, anders also die Kommunikationsmöglichkeit zu erweitern, die ursprünglich auf das gesprochene Wort, also auf Rufweite beschränkt war, ist in zwei Richtungen gelöst, durch die Post und die Telegraphie. Es ist kaum ein Zweifel, daß die letztere die ältere Schwester ist. Der für die Griechen glückliche Ausgang der Expedition nach Troja wurde telegraphisch durch Feuersignale den die Rückkehr der Krieger Erwartenden mitgeteilt, als die Kunst des Schreibens den Griechen noch nicht geläufig war. Allein bald überholte die Ausbildung der brieflichen Vermittelung die der telegraphischen bei weitem, und blieb unbedingte Siegerin, solange es sich nur um die Anwendung optischer Telegraphen handelte. Es darf keine Bewunderung hervorrufen, daß die Entdeckungen in der Lehre von der Elektrizität und besonders die seiner Zeit (p. 23) besprochenen Versuche über die Geschwindigkeit der Verbreitung der Elektrizität von Winkler und Le Monnier den Gedanken und den Wunsch zeitigten, diese schnellste Bewegung, welche fast momentan erschien, in den Dienst der Telegraphie zu stellen. Die Möglichkeit einer solchen Einstellung war durch die Versuche Le Monniers gegeben. In der That wird denn auch in Scots Magazine vom Jahre 1753 bereits von einem unbekannten Verfasser der Vorschlag gemacht, die Elektrizität zum Telegraphieren zu benutzen, doch ohne Angabe von Apparaten.

Einen wirklich ausgeführten Schritt zur Realisierung dieses Vorschlages hat Lesage in Genf 1774 gemacht, welcher 24 isolierte Leitungsdrähte an ihren Endpunkten mit je zwei Hollundermarkkügelchen versah und nun in der Aufgabestation den für den betreffenden Buchstaben bestimmten Draht an den [illegible] einer Elektrisiermaschine brachte, wodurch in der [illegible]ion die an dem Draht hängenden Kugeln diver[illegible] 24 Drähte wurden bald nachher durch einen Draht [illegible] versucht von Lomond, der die Zeichen durch

verschiedene Divergenz der Kugeln geben wollte. Allein daß der letztere Vorschlag, wegen des großen Einflusses der Leitungsfähigkeit der Luft und wegen der Unmöglichkeit, ein bestimmtes Quantum Elektrizität durch Reibung herzustellen, durchaus unpraktisch war, ist ohne weiteres klar.

Einen wesentlichen Fortschritt bezeichnen in dieser Richtung die fast gleichzeitigen Vorschläge Reisers, Boeckmanns und Salvas, an Stelle der Divergenz der Hollundermarkkugeln das Überspringen eines Funkens als Signal zu wählen und aus bestimmten Kombinationen solcher in verschiedenen Zwischenräumen gegebenen Funken das Alphabet herzustellen. Salva führte dies 1798 wirklich mit leidlichem Erfolge in Madrid aus. Auf demselben Prinzip beruhen Cavallos Vorschläge 1797 und Sir F. Ronalds' 1816, nur daß letztere die Entladung einer Leydener Flasche statt der Konduktoren einer Maschine anwenden wollten.

Die spätere Einrichtung des Ronaldsschen Telegraphen leistete wohl alles, was mit statischer Elektrizität geleistet werden kann. Am Aufgabe- und Empfangsort rotieren zwei genau gleiche Scheiben mit den zu telegraphierenden Zeichen synchron hinter einer mit einem festen Fenster versehenen festen Scheibe. Vor dem Fenster befinden sich zwei Hollundermarkkügelchen, welche an dem Leitungsdrahte hängen und durch fortdauernde Verbindung dieses mit einer Leydener Flasche in konstanter Divergenz erhalten werden, bis das gewünschte Zeichen beim Rotieren der hinteren Scheibe hinter das Fenster tritt. In diesem Augenblicke entladet der Aufgeber die Flasche am Aufgabeort und die Hollundermarkkugeln fallen zusammen. Das Schwierige bei dieser Vorrichtung ist die Herstellung des Synchronismus und die Langsamkeit des Verfahrens.

Alle diese Vorschläge waren praktisch unausführbar, wegen der schon angedeuteten Übelstände, die bei Reibungselektrizität nicht zu beseitigen sind. Es war infolge dessen diese Art der elektrischen Telegraphen nicht imstande die um dieselbe Zeit stark ausgebildeten optischen Telegraphen zu verdrängen, unter denen der Chappesche 1793 die hervorragendste Rolle spielte und zu deren allgemeiner Verbreitung

... Siegesnachrichten Napoleons I. nicht wenig beitrugen. Die ... Beseitigung dieser optischen Telegraphen ist nicht ... durch wissenschaftliche Erfolge besorgt worden, son... mehr durch die Kämpfe der Befreiungskriege, bei wel... die Verbündeten die Praxis befolgten, alle Telegraphen zerstören.

403. Um dieselbe Zeit, als die optischen Telegraphen ... so jähes Ende fanden, traten nun die ersten Versuche zu ...er brauchbareren elektrischen Telegraphie auf. Es war im Jahre 1809, als der Geh. Rat und Akademiker Soemmering[1], ... München die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom für telegraphische Zwecke zu benutzen vorschlug und seinen Vorschlag dann auch ausführte, wenn auch nur im Modell, wie seiner Zeit (pag. 214) erwähnt ist, unter Benutzung einer 2282′ langen Leitung.

In dieser ersten Arbeit wollte Soemmering 35 Leitungsdrähte für das Alphabet und die Zahlzeichen anwenden, die so eingerichtet waren, daß jeder von ihnen im Aufgabe-Apparat an einer Taste einer Klaviatur sitzt, im Empfangsapparat in einem vergoldeten Ende durch den Boden eines Glasgefäßes in einen Wasserbehälter ragte. Einer von den Drähten verband das Wasser dieses Behälters dauernd mit dem + Pol einer Voltaschen Säule, während der negative Pol zur Klaviatur im Aufgabeapparat abgeleitet war, wurde nun eine Taste niedergedrückt, so war der Strom durch den betreffenden Draht der Taste geschlossen und im Empfangsapparat entstand an der Goldspitze dieses Drahtes die Entwicklung von Wasserstoff. Der Beobachter hatte also auf die Bläschenentwickelung zu achten und von den beobachteten Drähten, an welchen sie stattfand, die betreffenden Buchstaben abzulesen. Das Bemerken der Gasentwickelung wird durch kleine über die Drähte gestülpte Glasbecher erleichtert. Um die lästige Führung von 35 einzelnen Drähten zu vermeiden, läßt Soemmering jeden Draht sorgfältig mit Seide überspinnen, und vereinigt alle Drähte zu einem gewundenen Leitungstau. Bei der weiteren Ausführung[2]) dieser Idee wandte

1) ... Schriften der Akademie zu München. Bd. 3. 1809—10 und Sc... Journal Bd. 2. 1811. pag. 217.
...rts Annalen XXXIX. 1811. pag. 478.

Soemmering nur 27 Leitungsdrähte an, und stellte auf eine Distanz von 4000′ die Versuche wirklich an; zu Petersburg, Paris und Genf wurden die Versuche wiederholt und er fordert etwaige Zweifler, wie den Lieutenant Prätorius, der ein ganz unwürdiges Pamphlet gegen ihn hatte erscheinen lassen, auf, sich von der Verwendbarkeit dieses Prinzips für telegraphische Zwecke zu überzeugen.

Wenn wir nun auch sagen müssen, daß dies Soemmeringsche Prinzip so noch nicht brauchbar war, so ist es doch die Grundlage gewesen für einen ganzen Typus von Telegraphen, für die nämlich, welche auf den chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes beruhen; dahin sind unter anderen die später so beliebten Kopiertelegraphen zu rechnen. Erst in viel späterer Zeit werden wir uns damit wieder zu beschäftigen haben.

404. Ich habe bereits der wichtigen Thatsache gedacht, daß wenige Monate nach der Oerstedtschen Entdeckung, Ampère den Vorschlag zu einem elektromagnetischen Telegraphen machte, und denselben im Modell ausführte. Ich habe da den Wortlaut wiedergegeben[1]) und kann mich deswegen hier von der nochmaligen Beschreibung dispensieren. Es sei nur noch hinzugefügt, daß Ritchie den Apparat ausführte und für alle 24 Nadeln einen gemeinsamen Rückleitungsdraht anwandte, sodaß die Zahl der Drähte damit auf 25 vermindert wurde. Ritchie wandte später auch 30 Nadeln an, um auch Zeichen außerhalb des Alphabets telegraphieren zu können. Da solche Apparate von Fechner und Davy gebraucht sind, muß es uns sehr Wunder nehmen, daß in der historischen Ausstellung der Telegraphen auf der elektrischen Ausstellung in Paris gerade der erste Apparat dieses berühmtesten Franzosen meines Wissens fehlte. Sollte man in Frankreich wirklich diese Entdeckung Ampères gar nicht kennen? Unter allen Umständen gebührt Ampère das Verdienst, die zweite Art der Telegraphen, die elektromagnetischen, ins Leben gerufen zu haben.

405. Der nächste Telegraph ist der ebenfalls schon beschriebene von Gauß und Weber[2]). Ich füge hier nur noch

1) pag. 214 Note.
2) pag. 427 ff.

an, daß sich aus den Ausschlägen der Nadel im Empfangsapparat nach rechts und links, je nach dem Induktionsstoß im Aufgabeapparat durch eine geeignete Kombination schnell folgender Induktionsstöße die Buchstabenzeichen und Zahlzeichen zusammensetzen ließen, ohne daß auf die Größe der Ablenkung hätte Rücksicht genommen zu werden brauchen. Das Schema wäre, wenn r einen Ausschlag nach rechts, l einen solchen nach links bedeutet, in folgender Tabelle gegeben:

$r = a$	$rrr = c(k)$	$lrl = m$	$lrrr = w$	$llrr = 4$
$l = e$	$rrl = d$	$rll = n$	$rrll = z$	$lllr = 5$
$rr = i$	$rlr = f(v)$	$rrrr = p$	$rlrl = 0$	$llrl = 6$
$rl = o$	$lrr = g$	$rrrl = r$	$rllr = 1$	$llrll = 7$
$lr = u$	$lll = h$	$rrlr = s$	$lrrl = 2$	$rlll = 8$
$ll = b$	$llr = l$	$rlrr = t$	$lrlr = 3$	$llll = 9.$

Zwischen zwei Buchstaben macht man eine kleine Pause, zwischen zwei Worten eine große. Daß dies System wirklich gut durchführbar war, hatten die Ausführungen in Göttingen gezeigt, und man war sogar Willens, dies System an der Bahn Dresden-Leipzig einzuführen, daß es nicht dazu kam, lag wesentlich an äußeren Gründen.

406. Gleichzeitig ist nun ein anderer Mann, der russische Staatsrat Baron Schilling von Canstadt zur Erfindung eines Nadeltelegraphen gekommen. Die in Paris ausgestellten Exemplare trugen die beigefügte Bemerkung: vom Jahre 1832. Worauf sich das stützt, ist mir noch nicht möglich gewesen zu erfahren. Schellen[1]) sagt, Schilling habe seinen Apparat gegen Ende von 1832 erfunden, woher er diese Jahreszahl hat, giebt er nicht an. Soviel ich weiß, sind die Quellen für die Kenntnis dieser Thatsache der Bericht J. Hamels im Bull. Acad. St. Petersb. 1860 II, der Bericht über die Naturforscherversammlung zu Bonn im Jahre 1835, wo Schilling seinen Apparat selbst vorführte, und die Demonstration eines solchen Apparates durch Wheatstone im Kings College im Jahre 1835, aber nirgends habe ich eine Angabe des Erfindungsjahres gefunden. Daher stimme ich Zetzsche[2]) zu, daß

1) Schellen, Der elektr.-magnetische Telegraph 1870. pag. 326.
2) Electrotechn. Zeitschrift. 1881. Oktob. I. pag. 356.

es wünschenswert sei, das Erfindungsjahr erst einmal sicher festzustellen. Dadurch sollen Schillings Verdienste nicht geschmälert werden, er wird durchaus selbständig seine Erfindung gemacht haben, es handelt sich aber hier um eine Priorität, und da sind die Versuche von Gauß und Weber solange als die früheren anzusehen, bis von dem Schillingschen Telegraphen zweifellos nachgewiesen ist, daß er der Frühere war. Schilling mag noch als Erfinder der elektrischen Minen-Entzündung auf große Distanzen erwähnt werden; schon 1812 sprengte er Minen mittels des galvanischen Stromes, den er quer durch die Newa leitete.

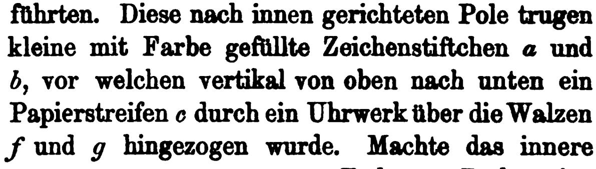
Schilling konstruierte seinen Telegraphenapparat mit einer Nadel, deren Schwingungen er dämpfte durch Anbringen einer kleinen Platinplatte an der Nadel, welche in Quecksilber tauchte. Als Stromquelle benutzte er eine galvanische Kette. Später hat er auch einen Apparat mit sechs Nadeln gebraucht, wenigstens war ein solcher als von ihm herrührend in Paris ausgestellt. Er hat auch mit seinem Apparat einen Wecker verbunden, der durch Läuten das Beginnen des Telegraphierens im Empfangsapparat anzeigte.

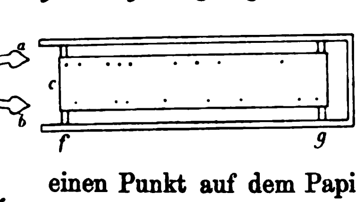
407. Sowohl Schilling wie Gauß und Weber haben die Grundlage zu Fortschritten gegeben. Da Gauß und Weber keine Zeit hatten, die Ausbildung ihres Telegraphen selbst fortzuführen, forderten sie den eben in München angestellten Professor Steinheil auf, sich mit der Sache weiter zu beschäftigen, und der Erfolg lehrte, daß sie sich an den rechten Mann gewandt hatten. Zunächst ersetzte Steinheil[1]) den umständlichen Weberschen Induktor durch eine Pixiische Maschine (Konstruktion Clarke), wodurch die Impulse nach rechts oder links bequem gegeben werden konnten, sodann (1836) verbesserte er den Empfangsapparat. Zwei einander gegenüberstehende, mit entgegengesetzten Polen sich zugewandte kleine Magnetztäbe B und B', welche um je eine vertikale Achse drehbar waren, lagen im Innern einer großen

---

1) Steinheil: Über Telegraphie, insbesondere durch galv. Kräfte. Münch. 1838. (Öffentliche Vorlesung vor der Akademie.) Siehe auch Schumachers Astron. Jahrb. 1839.

Drahtspule *A*; je nachdem der Strom dieselbe in der einen oder andern Richtung durchlief, wurden die Magnetstäbe nach verschiedenen Seiten abgelenkt, doch immer so, daß die zugewandten Pole der Magnete entgegengesetzte Bewegungen ausführten. Diese nach innen gerichteten Pole trugen kleine mit Farbe gefüllte Zeichenstiftchen *a* und *b*, vor welchen vertikal von oben nach unten ein Papierstreifen *c* durch ein Uhrwerk über die Walzen *f* und *g* hingezogen wurde. Machte das innere Ende von *B* also eine Bewegung gegen den Papierstreifen, sodaß der Farbestift denselben berührte und einen Punkt auf dem Papier verzeichnete, so bewegte sich das innere Ende des zweiten Magneten *B'* nach entgegengesetzter Richtung und schlug hier gegen eine Glocke, (in der Figur nicht mit gezeichnet), sodaß ein hörbares Signal entstand.





Aus den von diesen Zeichenstiften in zwei Reihen liegenden geschriebenen Punkten setzte Steinheil sein Alphabet zusammen. Man hat auf diese Weise den ersten Schreibtelegraphen. Die Zeichen für die einzelnen Buchstaben sind sehr einfach, z. B. .•. = *A*, .••. = *B* etc. Steinheil ist mit diesem Telegraphen der Vorgänger Morses gewesen.

Im Jahre 1837 wurde eine Telegraphenverbindung für Steinheils Apparate auf Befehl des Königs von Bayern hergestellt zwischen der Sternwarte zu Bogenhausen bei München und dem physikalischen Kabinet der Akademie, sowie dem Wohnhause Steinheils in München. Die Leitung hatte eine Gesamtlänge von 37500 Fuß, und es funktionierte der Apparat so gut, daß man denselben sofort an Eisenbahnlinien anwenden wollte. Dabei kam Steinheil auf den Gedanken, die eisernen Schienen als Leitung benutzen zu wollen.

408. Im Jahre 1838 stellte er zu dem Zweck auf der Linie Nürnberg-Fürth Versuche an und fand hierbei, daß der Strom oft durch die Erde hin von einer Schiene zur andern ging, das enthüllte ihm die Aussicht, die Erde selbst als Rückleiter

benutzen zu können. Er sagt in Bezug darauf: Es ist möglich auch sogenannte schlechte Leiter, wie die Erde einer ist, zur Leitung des Stromes zu benutzen. Es sei z. B. die Leitungsfähigkeit der Erde 100000 mal geringer wie die des Kupfers, so ist offenbar nur nötig, um einen gleich großen Widerstand bei Einschaltung der Erde, wie bei Einschaltung des Kupferdrahtes zu haben, den Querschnitt der Erdleitung 100000 mal größer zu nehmen, was bei Benutzung beliebig großer Platten, die in die Erde versenkt werden, stets möglich ist, ja es ist dadurch sogar die Möglichkeit gegeben, nicht nur den Widerstand der Leitung nicht zu vergrößern, sondern den der Rückleitung nahezu ganz zu beseitigen. Daß diese Entdeckung von fundamentalster Bedeutung ist bis auf den heutigen Tag, ist allseitig bekannt, wenn man aber sagt: „Steinheil entdeckte die Leitungsfähigkeit der Erde", so ist das nicht allgemein richtig, sondern nur unter Anwendung auf dies spezielle Problem, daß Wasser und feuchtes Erdreich die Fähigkeit habe, die Elektrizität zu leiten, war seit Winkler 1746 und Le Monnier 1747—50 nicht mehr Geheimnis, daß dasselbe auch für den Strom einer Voltaschen Säule gelte, war seit Ermans Untersuchungen 1806 und Basses Experimenten auf der Weser 1808, wovon seiner Zeit berichtet ist[1]), ebenfalls bekannt.

Die Ansicht Steinheils, daß die Erde wirklich als Rückleiter wirke, wurde von vielen späteren Forschern geteilt und für kurze Leitungen, wie bei den Experimenten Matteuccis, scheint dies auch in der That der Fall zu sein, wie man ja auch am Experimentiertisch bei kurzen künstlichen Erdleitungen nachweisen kann.

Besonders Baumgartner in Wien untersuchte diese Frage und stellte den Satz auf, daß bei Einschaltung verschieden langer Strecken Erdleitung der Widerstand im Stromkreise zunehme proportional der Verlängerung der Erdleitung[2]). Um Abweichungen seiner Beobachtungen mit diesem Satz in Einklang zu bringen, nimmt er dann an, daß die Leitungsfähigkeit der Erde an verschiedenen Stellen verschieden groß sei. Allein

---

1) pag. 153.
2) Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1849.

diese Beobachtungen können schon deshalb nicht beweisend sein, da sie die Polarisation ganz außer Acht lassen.

Bei längeren Drähten treten eine Reihe von Erscheinungen auf, welche es unmöglich machen, die Erde so ohne weiteres als Rückleiter anzusehen. Es zeigten sich nämlich bei Anwendung langer Drähte Abweichungen, die zunächst nicht zu erklären waren. Die Ursache derselben ist eine zweifache, einmal die zur Bildung eines Stromes notwendige Zeit und dann die Ladungserscheinungen der Drähte. Verbindet man einen Draht von großer Länge, der völlig isoliert ist, mit einem Pole einer Kette oder einer Voltaschen Säule und schaltet dicht am Pol ein Galvanometer ein, leitet den anderen Pol aber zur Erde ab, so zeigt das Galvanometer so lange einen Ausschlag an, bis die Elektrizität bis zum Ende des Drahtes abgeströmt ist. Danach wäre die Erde einem grossen Reservoir vergleichbar, wohinein alle Elektrizität abströmt; damit erledigen sich mehrere unten zu besprechende Fragen.

409. Am ausführlichsten untersuchte diese Thatsache Wheatstone[1]) Er benutzte einen 660 engl. Meilen langen Draht eines Telegraphenkabels, verband diesen in der Mitte und an den Enden mit Galvanometern und schloß das eine Ende an den Pol einer galvanischen Kette, das andere führte er zu einer Erdplatte, ebenso war der andere Pol der Kette direkt zur Erde abgeleitet. Wurden letztere Ableitungen unterbrochen, so erfolgte keine Ladung des Telegraphendrahtes, wurde aber der zweite Pol allein zur Erde abgeleitet, während das andere Kabelende immer noch isoliert blieb, so entstand ein Strom im Kabel, der bald alle Galvanometer konstant ablenkte; dieser war um so stärker, je länger die Leitung war. Bei den verschiedenen Galvanometern aber nahm die Ablenkung der Nadel, d. h. die Intensität mit der Entfernung von dem Pole, allmählich ab, und zwar entsprachen den Entfernungen 0, 110, 330, 440, 550 und 660 Meilen die respektiven Ausschläge $33^1/_2$, 31, 15, 12, 5,0 Grade. Nachdem so der Draht geladen ist, wird das mit der Kette verbundene Ende isoliert und das andere Ende mit der Erdplatte verbunden; dann ist zunächst das letzte Galva-

1) Pogg. Annal. Bd. 96. 1855. pag. 164.

nometer in Thätigkeit und erreicht den größten Ausschlag, die anderen folgen zeitlich und auch in Bezug auf die Stärke der Ablenkung. Verbindet man beide Enden des Kabels mit den beiden Polen der Säule, teilt das Kabel dann in der Mitte und stellt gleich die Verbindung wieder her, so bewegt sich die Nadel des mittleren Galvanometers zuerst, dann erst die an den Polen; teilt man aber an einem Pole und schließt wieder, so findet die Bewegung der Nadeln zuerst statt in dem Galvanometer nahe an dem Element. Ändert man den Versuch so ab, daß man das eine Kabelende zur Erde ableitet und gleichzeitig auch den einen Pol, während der andere mit dem anderen Kabelende verbunden ist, so entsteht ein langsames Fließen der Elektrizität von dem einen Ende (dem am Pole) des Kabels zum andern.

410. Während sich diese Erscheinungen an allen langen Leitungen zeigen, haben die unterirdischen oder submarinen Leitungen noch eine andere Ursache der Störung. Es muß nämlich bemerkt werden, daß, wie ja die ersten Telegraphendrähte von Gauß und Weber 1833 überirdisch waren, bei der allmählichen Einführung der Telegraphie auch zunächst überall überirdische Leitungen angewendet wurden. Die Schwierigkeit der völligen Isolierung des Drahtes, besonders bei feuchtem Wetter, wo die Flüssigkeitsoberfläche des Isolators eine Nebenschließung zwischen Draht und Erde herstellte, die Gefahr des Blitzschlages, die erheblichen Induktionserscheinungen bedingt durch die atmosphärische Elektrizität, ließen es wünschenswert erscheinen, unterirdische Telegraphenleitungen anzulegen. Die erste Regierung, welche das in größerem Maßstabe that, war die preußische, nachdem Siemens 1847 gezeigt hatte, daß man einen Draht am besten dadurch isoliere, daß man ihn mit Guttapercha umhülle. Vorher hatte Jacobi[1]) eine Isolation durch Glasröhren, die durch Kautschuk verbunden waren, versucht ohne Erfolg; auch die Versuche mit Kautschuk allein erwiesen dies als ein unpassendes Isolationsmittel.

Im Herbst 1846 stellte Siemens[2]) die ersten Versuche mit

1) Pogg. Annal. Bd. 58. 1843. pag. 409.
2) Pogg. Annal. Bd. 79. 1850. pag. 481, speziell 487.

Guttaperchablättern an, und 1847 war die erste Probeleitung auf eine deutsche Meile Länge fertig und bewährte sich so gut, daß dieselbe fortzusetzen beschlossen wurde bis Gr.-Beeren, $2^1/_2$ Meilen weit. Siemens giebt die von ihm erfundene Maschine zur Überziehuug mit Guttapercha sowie die Methode, die Entfernung schadhaft gewordener Stellen, welche also Nebenschließung erhielten, zu bestimmen, in derselben Arbeit bereits an. Leider erlaubt mir der Platz nicht, auf diese näher einzugehen. Zum Schlusse dieser Arbeit aber kommt Siemens[1]) auf das, was uns hier speziell interessiert. Ein solches Kabel repräsentiert in seinem Guttaperchaüberzug eine kolossale Leydener Flasche, deren eine Belegung der Draht, deren andere der feuchte Erdboden ist; hat man also die Enden der so gelegten Drähte isoliert, so zeigt sich an ihnen eine kräftige Spannungselektrizität; beim Schließen der Drähte wird dadurch ebenfalls ein Strom erzeugt, der bewirkt, daß der mechanische Effekt einer solchen unterirdischen Leitung den einer überirdischen bei weitem übertrifft, sodaß bei unterirdischen Leitungen schon viel geringere elektromotorische Kräfte die Telegraphenapparate zu erregen vermögen. Die mancherlei Vorzüge einer solchen Leitung hatten bewirkt, daß schon 1850 im preußischen Staate 400 Meilen solcher Leitung lagen. Es sei noch bemerkt, daß diese Arbeit von Siemens bereits am 18. Januar 1850 der physikalischen Gesellschaft in Berlin vorgelesen wurde, daß aber schon im Sommer 1849 Siemens die Entdeckung dieser Spannungselektrizität an den Kabelsträngen gemacht hatte. Er hat deswegen unbestreitbar Guillemin gegenüber das Recht der Priorität, obwohl letzterer unabhängig die analoge Entdeckung machte, ohne sie jedoch auf die Telegraphenleitungen direkt anzuwenden. Guillemin[2]) zieht aber aus seinen Beobachtungen den wichtigen Schluß, daß die Erde bei der Benutzung der Erdplatten weniger als Rückleiter aufzufassen sei, als vielmehr als gemeinschaftlicher Behälter, wohin die Elektrizität abfließe.

Diese Verhältnisse wurden in späteren Arbeiten von Fara-

---

1) l. c. pag. 498.
2) Pogg. Annal. Bd. 79. 1850. pag. 335.

day[1]) und Wheatstone[2]) ausführlich geprüft und erweitert, von Thomson[3]) aber einer genauen mathematischen Berechnung unterzogen und endlich von Siemens[4]) in einer nahezu gleichzeitigen Arbeit ebenfalls mathematisch begründet, während Kirchhoff[5]) in seiner klassischen Untersuchungsweise die Frage in der größten Allgemeinheit auffaßt und vollkommen löst. Es handelt sich dabei wesentlich um die elektrostatische Induktion durch einen galvanischen Strom, oder um die praktische Frage, was tritt ein, wenn durch einen solchen als Leydener Flasche wirkenden Draht ein galvanischer Strom geschickt wird. Die drei Engländer stehen ganz auf dem Boden der Faradayschen Induktionsanschauung, indem sie von einer Wirkung in die Ferne absehen zu können glauben und bei ihnen das Dielektrikum oder, wie wir sagen, der Isolator die Hauptrolle spielt mit seiner Molekularinduktion. Auch Siemens schließt sich schließlich dieser Auffassungsweise an. Kirchhoff dagegen steht voll und ganz auf dem Boden der Ampère-Weberschen Stromanschauung und leitet aus der Weberschen Grundlage die mathematischen Formeln ab für das allgemeine Problem der Elektrizitätsbewegung in Körpern unter Berücksichtigung der Induktion. Speziell löst er die Aufgabe für den Fall eines in sich geschlossenen Drahtes und den eines einseitig zur Erde abgeleiteten Drahtes von der Länge l, dessen anderes Ende mit einem Pol einer Säule verbunden ist. Leider ist es mir hier nicht gestattet, näher auf diesen Teil der Arbeiten einzugehen, vergleiche übrigens das auf Seite 498 ff. davon Mitgetheilte.

In Bezug auf die praktische Verwendung sei nur zugefügt, daß die unterirdischen Leitungen mit einer solchen Guttaperchaschicht auf die Dauer sich doch nicht bewährten, indem neben äußerlicher, beim Legen begangener Versehen besonders die Konstruktion des Isolators selbst eine Quelle der Zerstörung einer solchen Leitung wurde. Siemens hatte dem Guttapercha

1) Pogg. Annal. Bd. 92. 1854. pag. 152.
2) Siehe oben pag. 582.
3) Phil. Mag. Ser. IV. 1853. pag. 393.
4) Pogg. Annal. Bd. 102. 1857. pag. 66.
5) Pogg. Annal. Bd. 100. pag. 193 und Bd. 102. pag. 529.

etwas Schwefel beigemischt, um die Isolation zu erhöhen, allein dieser erwies sich als verhängnisvoll, er verband sich mit dem Kupfer zu Schwefelkupfer, das löste die Guttaperchaschicht auf und der Draht hatte direkten Schluß mit der Erde. Deswegen gab man in Preußen die unterirdische Leitung wieder ganz auf und hat erst in unseren Tagen wieder angefangen, strategisch wichtige Punkte durch dauerhafte Kabel zu verbinden.

411. Anders gestalteten sich die Verhältnisse für Länder, die durch Meere getrennt waren. Überirdische Linien waren von selbst ausgeschlossen, also blieb nur die Legung von Kabeln übrig. Der erste Vorschlag hierzu ging von Wheatstone 1840 aus, der dem Eisenbahncomité der Kammer der Gemeinen ein solches Projekt vorlegte; die Ausführung unterblieb, da die Technik noch nicht soweit vorgeschritten war, ein solches Kabel zu bauen. Die Erfolge Siemens' änderten das. Im Januar 1849 hatte der Telegraphendirigent der Südwest-Eisenbahngesellschaft in England auf einer über zwei Seemeilen langen Seeleitung telegraphiert. Das gab den Anstoß, daß nun H. J. Brett sich ein Patent auf zehn Jahre geben ließ für eine Kabelverbindung zwischen Dover und Calais. Am 28. August 1850 wurde das nur aus einem $^1/_{10}$ Zoll dicken, mit einer Guttaperchaschicht umhüllten Kupferdraht bestehende Kabel gelegt. Depeschen liefen zum ersten Male hinüber und herüber, aber am folgenden Tage zerriß das Kabel! Im folgenden Jahre, am 25. September, begann derselbe Mann die Legung eines neuen Kabels, aus vier ebensolchen Drähten wie das erste bestehend, die aber mit Eisendraht zum Schutz übersponnen waren. Das bewährte sich.

Nun schritt man zur Konstruktion größerer Kabel. Es blieb die Vereinigung mehrerer Kupferdrähte zu einem Seil, es blieb die Umhüllung mit Guttapercha oder besonders präpariertem Kautschuk in mehreren Schichten, darüber wurden Hanfwickelungen geflochten, die stark getheert waren, darüber kamen Eisendrähte, einzeln oder in Seilen. Solche Kabel wurden vielfach gelegt, bis sich auf der Linie Toulon-Algier zeigte, daß ein Wurm (Xylophaga) sich zwischen den Windungen des Eisens hindurch in die Kautschuk-, Guttapercha- und Hanf-

hülle bis zum Kupfer durchfraß und so die Isolierung illusorisch machte. Dem half das William Siemenssche Kabel ab, dessen äußere Hülle aus übereinander greifenden Kupferstreifen gebildet wurde, die etwas Phosphor enthielten, um vor der Einwirkung des Seewassers geschützt zu sein. Das erste transatlantische Kabel wurde am 5. August 1858 dem Verkehr übergeben, allein am 14. September desselben Jahres war es bereits zerstört. Noch unglücklicher ging es mit dem zweiten Kabel 1865, welches beim Legen am 2. August auf hoher See, nachdem nahezu zwei Drittel der Strecke gelegt waren, zerriß und verloren ging. Mit demselben Great Eastern, der dies zu legen versucht hatte, wurde nun 1866 das erste dauerhafte Telegraphenkabel gelegt und gleichzeitig war man so glücklich, das verlorene wieder aufzufischen und fortsetzen zu können, sodaß nun gleich zwei Kabel lagen. Heutzutage existieren meines Wissens fünf transatlantische Kabel und eine sehr große Zahl kürzerer submariner Telegraphenleitungen.

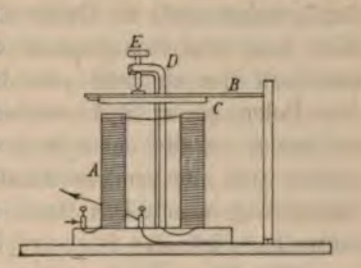
412. Wir kehren zurück zu den Telegraphen selbst, die wir bei Steinheil verlassen hatten. Die nächsten Telegraphen schließen sich an den Schillingschen an. Am 6. März 1836 sah der Engländer W. Fothergill Cooke[1]) in einer Vorlesung des Heidelberger Professors Munke einen solchen Schillingschen Apparat und führte denselben in England ein, zunächst als Telegraph mit einer Nadel für Eisenbahnzwecke; ging die Nadel nach rechts, so hieß es „hin", nach links „her". Dies wurde auf der Edinburgh-Glasgower Eisenbahn durchgeführt. Nun trat Cooke in Verbindung mit Wheatstone, um einen Fünfnadeltelegraphen zu konstruieren. Die fünf Nadeln wurden aber niemals einzeln abgelenkt, sondern bei jedem Druck auf die Tasten des Aufgabeapparates gleichzeitig zwei und zwar nach entgegengesetzter Seite, sodaß diese in ihrer Verlängerung einen Schnittpunkt angaben und an die Stelle dieses Schnittpunktes wurde ein Zeichen geschrieben. Im Ganzen entstanden 20 Schnittpunkte, und so hatte man die Möglichkeit, 20 Signale zu geben. Das Patent hierüber datiert vom 12. Dezember 1837. Die Ausführungs-

1) Cf. John Tyndall, elektrische Erscheinungen und Theorien, deutsch von Rosthorn. 1884. pag. 39.

kosten waren aber so groß, daß nach einer Anlage von 39 engl. Meilen die Great-Westerneisenbahn die Fortführung aufgab. Analog war der Cookesche Telegraph mit drei Nadeln vom Jahre 1838 und der von Magrini in Padua vom Jahre 1837, wobei noch die Größe der Ablenkung mit in Frage kam. Alle diese Nadeltelegraphen stellten sich sehr bald als unpraktisch heraus, und von der großen Anzahl Patente über Nadeltelegraphen, mit welchen England um die Zeit gesegnet ist, hat nur eines, das System von Bain (patentiert 1843), eine größere und dauerndere Anwendung besonders in Österreich-Ungarn erfahren. Das Bainsche System ist prinzipiell nichts anderes als der alte Webersche Telegraph, nur daß die abgelenkte Nadel an beiden Seiten noch gegen Glocken schlug, die auf verschiedene Töne abgestimmt waren, sodaß die Ablenkung nach rechts und links sich auch dem Ohre merklich unterschied. Gleichzeitig konnte man diese Vorrichtung als Läutewerk gebrauchen, oder vielmehr der dienstthuende Telegraphenbeamte wurde durch die Töne der Glocke, selbst wenn er nicht Acht hatte, auf die Depesche aufmerksam und konnte sofort die gemeldeten Buchstaben heraushören. Der Nadeltelegraph ist nur in einer Beziehung von dauernder Bedeutung geblieben, nämlich für die transatlantischen Kabel. Um die Kabel zu schonen und um der oben erwähnten elektrostatischen Ladung Rechnung zu tragen, ist es nötig, dort nur sehr schwache Ströme zu verwenden. Man benutzt daher unter Einschaltung eines Kondensators die in dem Kabel vorhandene Spannungselektrizität selbst, welche durch Ladung des Kondensators in Strömung versetzt wird, zur Zeichengabe, indem man dieselbe durch ein sehr empfindliches Thomsonsches Reflexgalvanometer schickt, von dessen Spiegel das Bild eines Lichtstrahls auf eine feste Skala projiziert wird. Nun wird, jenachdem die positive oder negative Elektrizität mittels des Kondensators gezwungen wird, sich an das entgegengesetzte Ende zu begeben, hier eine Ablenkung im + oder — Sinne erzeugt Die Ladung des Kondensators geschieht durch eine Daniellsche Kette von vier oder fünf Elementen.

413. Ehe ich die weiteren Telegraphenapparate bespreche, ist es nötig, einer allgemeinen Erfindung zu gedenken, die auch für

die Telegraphen von Wichtigkeit war und auf die ich in früheren Kapiteln wohl aufmerksam machte, jedoch nicht Gelegenheit fand sie zu beschreiben. Ich meine den von Wagner 1839[1]) erfundenen sogenannten Hammer. Wir haben die Erzeugung von Elektromagneten seiner Zeit besprochen. Denken wir uns einen solchen *A* mit den Polen nach oben gerichtet vertikal aufgestellt und darüber einen an einer Messingfeder *B* in geringer Entfernung von den Polen gehaltenen Anker *C* aus weichem Eisen, so wird beim Schluß des Stromes der Anker angezogen und dadurch die Feder nach unten gespannt. Leitet man nun durch ein Metallstativ *D*, welches eine nach unten gerichtete Schraube *E* hält, die für gewöhnlich die Feder gerade berührt, den Strom durch die Schraube und Feder, so wird in dem Moment der Stromschließung die Feder angezogen, dadurch aber die Berührung der Schraube mit der Feder aufgehoben und der Strom unterbrochen. Nun hört die Anziehung durch die Elektromagneten auf und die Feder schnellt wieder in die Höhe, berührt wieder die Schraube *E*, der Strom wird wieder geschlossen und das Spiel wiederholt sich. Diese abwechselnde Stromschließung und Öffnung hatte Du Bois-Reymond und Ruhmkorff benutzt, um schnell wechselnde Induktionsströme zu erzeugen. Auch in anderen Beziehungen hat der Hammer vielfache Verwendung gefunden. Gerade so gut nun wie die Anziehung der Feder mit dem Eisenanker durch den Elektromagneten benutzt wird von Wagner zur Stromunterbrechung, kann dieselbe auch zu anderen Zwecken benutzt werden, z. B. zum Auslösen eines Uhrwerkes, oder zum Schließen eines Stromes, oder endlich, wenn man die Feder zu einem zweiarmigen Hebel macht zum selbsthätigen Drehen eines Zahnrades nach Art eines Echappements oder zur Leistung sonst einer mechanischen Arbeit. In diesen letzteren Fällen ist ein solcher Elektromagnet in der Telegraphie angewendet.



1) Pogg. Annal. Bd. 46. 1839. pag. 107.

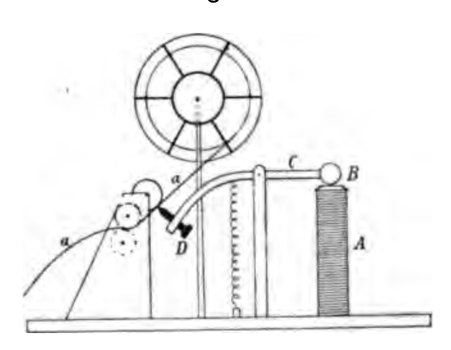
414. Man nennt dann eine solche Vorrichtung, wenn sie den Zweck hat einen Strom zu schließen, Relais. Dies erfunden zu haben ist das Verdienst Wheatstones 1839. Er schickt einen Strom durch einen solchen Elektromagneten an der Empfangsstation: dadurch wird die Feder angezogen und diese drückt in dem Augenblick auf ein Kontaktstiftchen. Sind nun die Feder einerseits, das Kontaktstiftchen andererseits mit den Polen einer Säule verbunden, so wird der Strom geschlossen; schaltet man in denselben den Telegraphenapparat ein, so wird hier die gewünschte Wirkung hervorgerufen. Diese Einrichtung ermöglicht auch die Anwendung verhältnismäßig schwacher Ströme.

415. Diese Übertragungsvorrichtung war auch für den sogenannten Zeigertelegraphen von Wichtigkeit. Der erste Zeigertelegraph, der zwei sich synchron drehende Scheiben an der Aufgabe- und Empfangsstation voraussetzte, war von Cooke 1836 bereits konstruiert, aber unbrauchbar, wie alle Synchronismus voraussetzenden Apparate, wenn dieser nicht durch den elektrischen Strom selbst erzeugt wird. Wheatstone konstruierte seine Zeigertelegraphen, nachdem E. Davy bereits 1839 das Echappement eines Uhrwerkes durch den Strom reguliert hatte. Der Aufgabeapparat Wheatstones besteht aus einem Holzrade, in welches an seinem Rande eine Anzahl Kupferplatten eingelegt sind, die selbst gerade so breit sind wie die Distanz zwischen zwei Platten, welche durch Holz ausgefüllt ist. Lassen wir nun auf den Rand dieser Scheibe eine mit einem Pol verbundene Feder schleifen, wenn der andere Pol zur Erde abgeleitet ist und alle Kupferstücke des Radkranzes mit der äußeren Telegraphenleitung verbunden sind, so wird jedesmal der Strom geschlossen, wenn die Feder über einen solchen Kupferstreifen geht. Den Kupferplatten und Holzstücken entspricht auf einer vorstehenden Pappscheibe je ein Buchstabe und ein Zeiger giebt die jeweilige Lage des Kontaktrades an. Der so bei einem Buchstaben geschlossene, beim nächsten aber geöffnete Strom bewirkt im Empfangsapparat durch die abwechselnde Anziehung eines Eisenankers durch den Elektromagneten die Bewegung eines Echappements, das dazu gehörige Uhrwerk dreht dann ruck-
nach dem Gange des Echappements einen Zeiger vor

einer gleichen Scheibe wie im Aufgabeapparat, und so entsteht synchrone Bewegung, vorausgesetzt, daß im Aufgabeapparat immer nur nach einer Richtung, der der Drehung im Empfangsapparat gleichen, gedreht wird. Diese Zeigertelegraphen sind auf einzelnen kleinen Strecken noch heute in England gebräuchlich. Von Verbesserungen daran nenne ich nur, ohne zu beschreiben, die von Fardely in Mannheim 1843, auf sächsischen Bahnen viel gebraucht, von Ferdinand Leonhard in Berlin, 1845 auf der Thüringischen Bahn bis 1857 gebraucht, von L. Bréguet 1845 in Paris, eine Zeit lang „französischer Staatstelegraph“, von Werner Siemens 1846 mit Selbstunterbrecher, sodaß der Telegraphenbeamte durch den Strom selbst korrigiert wurde, unter Benutzung von Induktionsströmen. Der Griff des Siemensschen Aufgabeapparates ist nämlich mit seinem Cylinderinduktor der Gestalt verbunden, daß durch Übertragung der Drehung dieses Hebels mittels eines Zahnrades auf die Achse des Cylinderinduktors bei jedem Drehen des Hebels von einem Zeichen zum andern der Cylinder in dieser Zeit gerade eine halbe Umdrehung macht, so daß für aufeinander folgende Zeichen Ströme von entgegengesetzter Richtung durch den Empfangsapparat gehen. Da dieser Zeigertelegraph des galvanischen Elementes entbehrt, hatte er eine ungemein große Verbreitung gefunden als Feuermelder, Eisenbahntelegraph etc.

416. Von allen Telegraphenapparaten hat keiner solche Bedeutung erlangt wie der Morses, des amerikanischen Malers. Tyndall sagt in dem schon oben citierten Büchlein, Morse habe von 1832 bis 1836 versucht, mit Hilfe chemischer Wirkungen des Stromes zu telegraphieren und sei dann erst auf die elektromagnetischen Erscheinungen verfallen. Wenn das nicht überhaupt ein Irrtum des deutschen Übersetzers ist (die englische Ausgabe stand mir nicht zu Gebote), so müssen wir bedauern, die Quelle nicht zu erfahren, woraus das folgen sollte. In den mir bekannten Quellen und Monographien über diesen Gegenstand steht davon nichts, vielmehr hat Morse schon 1832 den Elektromagneten anwenden wollen zu einer telegraphischen Zeichenübermittelung auf der Rückreise von England nach Amerika. Freilich war erst 1835 der Gedanke

soweit in feste Formen übergegangen, daß Morse ein Modell herstellen konnte, welches er seinen Freunden vorzeigte[1]. Acht Jahre später gelang es ihm, eine Subvention von 30 000 Dollars zu erhalten für die Ausführung einer Telegraphenlinie von Washington nach Baltimore, welche am 27. Mai 1844 dem Betrieb übergeben wurde. Doch war die Einrichtung eine noch sehr unvollkommene, der Elektromagnet wog z. B. nicht weniger als 158 Pfund. Erst durch Professor Page erhielt der Apparat die kompendiöse Form, in welcher wir ihn kennen. Morse hatte den Elektromagneten dazu in Frankreich 1845 gekauft. Der Strom einer galvanischen Säule wird vom Aufgabeapparat durch einen „Schlüssel" für längere oder kürzere Zeit durch die Drahtleitung und durch den im Empfangsapparat stehenden Elektromagneten *A* geleitet. Hier wird durch den Stromschluß die Anziehung eines Ankers *B*, der an einem Arme eines zweiarmigen Hebels *C* sitzt, bewirkt; dadurch wird der andere Arm dieses Hebels in die Höhe gedrückt und die an seinem Ende befindliche spitze Stahlschraube *D* gegen einen durch ein Uhrwerk vor derselben dauernd vorübergezogenen Papierstreifen gedrückt. Bei langem Schluß im Aufgabeapparat entsteht hier ein Strich, durch momentanen ein Punkt. Aus Strichen und Punkten setzt er sich die Zeichen für die einzelnen Buchstaben zusammen. Der Stahlstift mit seinen Eindrücken auf dem Papier ist später durch Schreibstifte ersetzt, die ihre Spuren ja leichter lesbar hinterlassen und auch nicht eines so kräftigen Druckes bedürfen. Der erste gelungene Versuch hierzu ist von John und Digney 1854 ausgeführt; die beste Methode dieser Art rührt unzweifelhaft von Siemens her und hat sich deswegen der weitesten Verbreitung zu erfreuen.



1) Schellen, der elektromagnetische Telegraph. 1870. pag. 420.

Da der Morse-Apparat im Empfangsorte immerhin einen starken Strom voraussetzt, ist eine wesentliche Verbesserung die Einführung des Relais, dessen wir oben schon gedachten. Dann geht der Strom von der Aufgabe- zur Empfangsstation, in letzterer aber lediglich durch das Relais; dies bewirkt einen Stromschluß der an dem Empfangsorte selbst aufgestellten Lokalbatterie, welche dann den Morseschen Apparat erst in Bewegung setzt. Die Einrichtung mit diesem Relais ist ja so allgemein bekannt, daß ich von ausführlicherer Darlegung absehen zu können glaube.

Dadurch, daß der Absender beim Morseschen Apparat durch seinen Druck auf einen Schlüssel den Strom lange oder kurz schließen muß, können bei nicht sehr geübten Beamten leicht Störungen entstehen. Daher ist man auf mancherlei Verbesserungsvorschläge gekommen; am einfachsten scheint mir die von Morse selbst angegebene Schreibplatte zu sein, die ich daher erwähnen möchte. Sie besteht aus einer Metallplatte, die mit dem + Pol des Elementes dauernd verbunden ist; auf der Platte sind erhaben die Zeichen für die einzelnen Buchstaben als kurze oder lange Striche angebracht, z. B. für *A* die erhabenen Stellen ▬ ▬▬. Wird nun der Zwischenraum zwischen diesen Erhebungen mit nichtleitender Masse ausgefüllt und eine Metallfeder von der Breite der erhabenen Stellen, welche mit dem Leitungsdraht verbunden ist, über dieselben schleifend hingezogen, so entsteht in dem gegebenen Beispiele erst ein kurzer, dann ein langer Stromschluß, und im Empfangsapparat erhält man das Signal des Buchstabens *A*.

417. Eine analoge Idee führte Siemens zu seinem Typenschnellschreiber, wo statt einer solchen Platte, wie ich sie eben beschrieben habe, Typen angewendet werden, die entsprechende Ausschnitte haben; diese werden hintereinander gesetzt und an einem passenden Kontaktstift vorübergeführt. Die hierzu notwendige Bewegung benutzt man gleichzeitig zur Drehung eines Cylinderinduktors, welcher die Ströme für die Leitung liefert. Die Schrift im Empfangsapparat ist die Morsesche Schrift. Hat man Leute genug zum Setzen der Typen, so ist mit einem solchen Apparat eine große Geschwindigkeit

zu erzielen; er ist deswegen auch auf viel benutzten Linien in erfolgreichem Gebrauche gewesen.

418. Um noch größere Geschwindigkeit zu erzielen und Irrtümer beim Lesen der Depesche im Empfangsapparat zu vermeiden, blieb das Ziel, einen Typendrucktelegraphen zu erhalten, der in Lettern die Buchstaben direkt druckte. Dazu ist es nötig, daß eine Vorrichtung angebracht wird, den zu telegraphirenden Buchstaben an die richtige Stelle zu bringen, dann das Papier, worauf gedruckt werden soll, gegen die bereitstehende Letter zu drücken und nach geschehenem Drucke das Papier um so viel fortzuziehen, daß der nächste Buchstabe Platz findet. Endlich ist es nötig, die Lettern durch eine Walze mit Druckerschwärze zu versehen. Der erste, welcher diese Aufgabe gelöst hat, war nach einer Bemerkung Morses vom Jahre 1847 der Amerikaner Vail, dessen Konstruktion in das Jahr 1837 fallen soll. Der danach älteste Typendrucker ist der Wheatstones vom Jahre 1841, bei dem ein durch ein Uhrwerk getriebenes Typenrad durch einen Elektromagneten richtig eingestellt und dann gegen das über eine Walze gehende Papier gedrückt wurde. Die Auslösung des Rades geschah mit Echappement. Auf demselben Prinzip beruhen die Apparate von Bain 1843, Brett 1845, Fardely 1845, House 1846, Digney 1858 etc.

Aus dem Prinzip des Zeigertelegraphen mit synchronischer Bewegung entwickelte sich der Typendrucker von Siemens 1850, Jacoby 1850, d'Arlincourt 1862, endlich der allgemein bewährte Typendrucker von Hughes 1855, der von verschiedenen Seiten, besonders von Siemens und Halske, in Einzelnheiten verbessert ist[1]).

419. Es erübrigt noch neben dieser kurzen Übersicht über die Telegraphen, welche die magnetischen Wirkungen des Stromes benutzten, einen flüchtigen Blick zu werfen auf die Apparate, welche sich hauptsächlich auf die chemischen Wirkungen stützen. Solange nur die Wasserzersetzung bekannt war, konnte nicht daran gedacht werden, mit Hilfe derselben einen brauchbaren

1) Siehe Elektrotechnische Zeitschrift 1881. Okt. und Dez. pag. 354 und 492.

Telegraphen zu finden; erst durch die Davyschen Metallfällungen und allgemeinen Zersetzungsversuche konnte man zur Konstruktion von chemischen Telegraphen gelangen. Freilich ist noch eine sehr geraume Zeit verstrichen, ehe der erste chemische Telegraph auftauchte. In dem bereits erwähnten Telegraphen von E. Davy 1839 wurde die Zersetzung durch den Strom benutzt, aber so unvollkommen, daß der Apparat nirgend in Thätigkeit getreten ist. Erst 1842 trat Bain mit einem brauchbaren chemischen Telegraphen, einem „Kopiertelegraphen“, auf, der in der Form, wie sie ihm Bonelli Mitte der fünfziger Jahre gab, Anwendung gefunden hat. Da er sehr geeignet ist, das Prinzip zu erläutern, sei derselbe kurz skizziert. Metalllettern großer lateinischer Buchstaben *a* werden zusammengesetzt und mit dem + Pol des Elementes verbunden; darüberweg wird eine aus fünf schleifenden Metallfedern bestehende

BAIN. BAIN.

Bürste *b* geführt; jede Feder steht mit einem besonderen Leitungsdraht in Verbindung. Diese fünf Leitungsdrähte sind zu einem Kabel *c* vereinigt und führen im Empfangsapparat zu fünf einzelnen Federn, welche über einer mit der zu zersetzenden Flüssigkeit getränkten Papierfläche, die auf einer mit der Erde verbundenen Metallplatte liegt, fortgezogen werden. Ist dann der − Pol des Elementes ebenfalls zur Erde abgeleitet und befinden sich die Federn des Anfgabeapparates gerade auf den erhabenen Teilen einer Letter, so ist der Strom geschlossen und im Empfangsapparat wird die Zersetzung eintreten, ihre sichtbaren Spuren, wie in *d* angedeutet, hinterlassend.

Als Zersetzungsflüssigkeit haben wir als sehr empfindlich bereits den Jodkaliumkleister kennen gelernt, wo die Zersetzung sich durch violette Färbung kund giebt. Es ist später von Gintl 1853 als Flüssigkeit Cyankalium in Wasser mit Salzsäure und Kochsalzlösung eingeführt mit gutem Erfolge, und von

Pouget-Moisonneuve Wasser, salpetersaures Ammoniak und gelbes Blutlaugensalz.

Man kann dann entweder, wie es bei Bonelli ist, die Buchstaben erhaben nehmen und erhält dann dunkele Schrift auf nicht zersetztem hellen Grunde, oder man kann den Strom für gewöhnlich geschlossen halten und die Buchstaben nicht leitend machen, sodaß dieselben im Empfangsapparat durch Nichtzersetzung, also durch helle Schrift auf dunkelm zersetzten Grunde sich kund geben. Die letztere Anordnung ermöglicht es, völlige Kopiertelegraphen herzustellen, indem man die zu kopierenden Zeichen (es brauchen das keine Buchstaben zu sein) mit nichtleitender Flüssigkeit auf die leitende Platte des Aufgabeapparates schreibt.

420. Alle diese Kopiertelegraphen setzten Synchronismus in der Bewegung der schleifenden Feder des Aufgabe- und Empfangsapparates voraus und das ist der schwierigste Teil der Aufgabe. Diese löst, wenn auch noch in sehr unvollständiger Weise, Bakewell 1847, indem er der Platte die Form eines Cylinders giebt, welcher durch ein Uhrwerk gedreht wird. Auf demselben schleift ein Kontaktstift (es ist also auch nur ein Leitungsdraht erforderlich), der langsam parallel der Achse des Cylinders weitergeführt wird, sodaß er auf der Cylinderfläche eine Spirallinie beschreibt. Im Empfangsapparat ist eine analoge Walze mit Kontaktstift, aber der Synchronismus ist doch sehr unvollständig, und vor allem ist es schwer, wenn er gestört ist, eine Korrektion anzubringen.

Der Synchronismus ist erst völlig möglich durch Benutzung des elektrischen Stromes zur Regulierung der Bewegung, wie es Caselli in seinem berühmten Pantelegraphen thut. Schon 1856 beginnen Casellis Untersuchungen, die 1864 beendet wurden, sodaß 1865 der Apparat in die Praxis eingeführt wurde. Die Platten haben hier die Gestalt cylindrisch gebogener Bleche, über welche durch ein Uhrwerk ein Schlitten mit Kontakt hin und her geführt wird[1]). Die Uhrwerke werden durch sehr

1) Man hat sowohl Einrichtungen mit einem Bleche, auf welchem der Stift hin und her schleift, nachdem seine Neigung gegen die Platte verändert ist, als auch Apparate mit zwei Blechen rechts und links, wo bei

schwere Pendel in Betrieb erhalten und deren Synchronismus wird durch den Strom selbst bewirkt. Unregelmäßigkeiten kommen deswegen überhaupt selten vor, thun sie es dennoch, so ist die Korrektion nicht schwer auszuführen.

Weitere Versuche glaube ich übergehen zu dürfen. Da es für die Praxis selten nötig ist, Kopien zu erhalten, handelt es sich weniger um die Aufgabe, die Schriftähnlichkeit zu erreichen, als vielmehr um die, bei möglichst geringen Kosten eine möglichst große Anzahl Zeichen in einer gewissen Zeit telegraphieren zu können; das leisten die Typendrucker aber in vollkommener Weise, während für die gewöhnlichen Bedürfnisse der Morsesche Apparat ausreicht, der wegen seiner ungemeinen Einfachheit und Billigkeit in absehbarer Zeit wohl noch nicht aus der Praxis entfernt werden wird.

421. Wenn wir nun eingestehen müssen, daß die Leistungen der Telegraphie in den 50 Jahren des Bestehens derselben so großartige Fortschritte gemacht haben, daß wir vollauf zufrieden sein können (wenn z. B. der Hughessche Typendrucktelegraph imstande ist, in einer Minute gegen 150 Buchstaben zu telegraphieren, so leistete er das möglichste, und doch ist er noch übertroffen durch die verschiedenen neueren Verbesserungen, oder wenn uns der Casellische Pantelegraph die Möglichkeit giebt, getreue Kopien zu erhalten von irgend welchen Schriftzeichen), so fragt man sich, was haben wir noch zu wünschen? Soviel schneller aber das gesprochene Wort dem Zaun der Zähne entflieht wie das geschriebene aus der Feder fließt, soviel machtvoller die artikulierte Rede auf die Hörer wirkt wie die gelesene, soviel höher ist das Ziel zu rechnen, gesprochene Worte zu übermitteln auf beliebige Entfernungen hin; zumal damit auch ein ganzes Gebiet, welches bisher nur einem immer lokal beschränkten Zuhörerkreise zugänglich war, weiteren Kreisen übermittelt werden kann, ich meine die Musik. Es ist daher schon seit lange die Aufgabe einzelnen geistvollen Köpfen ein interessantes Problem gewesen, neben den Telegraphen das Telephon zu setzen. Die erste Lösung dieser Aufgabe ist eine

---

der Bewegung nach einer Seite rechts, bei der entgegengesetzten Bewegung links Kontakt hergestellt ist.

deutsche Leistung und schließt sich direkt an die ernsteste, wissenschaftliche Forschung an, daß man getrost sagen kann, auch hier ist jeder Zufall ausgeschlossen.

Schon im Jahre 1838 hatte Page[1]) entdeckt, daß wenn er zwischen den Schenkeln eines Hufeisenmagneten eine Drahtspirale von kurzen Strömen durchfließen ließ, jedesmal beim Schließen und Öffnen des Stromes der stimmgabelartige Magnet anfing zu tönen, indem die Pole entweder zu der Spirale angezogen oder von ihr abgestoßen wurden. Daß man die Spirale mit dem entstehenden oder verschwindenden Strome ersetzen kann durch einen rotierenden Elektromagneten bestätigte in demselben Jahre Delezenne[2]).

Während auf diese Weise transversale Schwingungen entstehen, beobachtete Marrian[3]) 1844 auch longitudinal Töne an Eisenstäben, welche in eine Drahtspule gesteckt waren, durch welche ein Strom geleitet wurde, beim Schließen und Öffnen des Stromes. Diese letztere Beobachtung ist das wichtigere und zunächst geradezu frappierende, sie wurde bestätigt durch Matteucci an gespannten Eisendrähten und besonders durch Wertheim[4]) drei Jahre später, welcher durch schnelle Aufeinanderfolge von Stromschluß und Öffnung einen kontinuierlichen Ton zu erzeugen imstande war an einem in der Mitte eingeklemmten Eisenstabe, ja er stellte die Schwingungen sogar objektiv auf geschwärzten Platten dar.

Wieder anderer Art sind die Töne, welche zuerst Beatson und De la Rive beobachteten, als sie durch einen weichen Eisendraht einen diskontinuierlichen Strom sandten. Diese Longitudinaltöne entstehen nur beim Eisendraht, nicht auch bei Drähten anderer Metalle (entgegen der De la Riveschen Behauptung), und richten sich in ihrer Stärke nach der Weichheit derselben, indem die Töne bei hartem Stahl sehr gering sind. Die Tonerzeugung besorgt bei all diesen Erscheinungen entweder die mechanische Erschütterung durch den diskontinuierlichen Strom wie bei den letzten Erscheinungen aber auch die durch die

1) Pogg. Annal. Bd. 43. 1838. pag. 411.
2) Bibl. univ. Ser. II. T. 16. 1838. pag. 406.
3) Pogg. Annal. Bd. 63. 1844. pag. 530.
4) Pogg. Annal. Bd. 68. 1846. pag. 140, und Bd. 77. 1849. pag. 43.

Magnetisierung bedingte Umlagerung der Moleküle wie bei den Wertheimschen Tönen.

422. An letztere schließt sich eng an das Telephon, erfunden von Ph. Reis, Lehrer am Garnierschen Institut zu Friedrichsdorf bei Homburg 1860. Wenn man nämlich die Schließungen und Öffnungen des Stromes schneller wiederholt, ist der eigentümliche Longitudinalton des Eisenstabes begleitet von einem klirrenden Geräusch. Dieses geht, sobald man die Schließungen und Öffnungen in schneller Wiederkehr regelmäßig wiederholt, über in einen Ton, dessen Höhe direkt proportional ist der Zahl der Schließungen und Öffnungen. Es besteht daher Reis' Telephon im Aufgabeapparat aus einer Membran, die auf ihrer Rückseite einen mit dem + Pol einer Kette (eines Elementes) verbundenen Kontaktstift hat, welcher gegen eine Feder anschlägt bei Zurückschwingen der Membran, und die Feder nicht berührt beim Vorschwingen. Singt man also in einen Schallbecher hinein, dessen eine Wand eben diese Membran bildet, so wird der Strom im Takte der Wellenbewegung der Membran, also auch des gesungenen Tones, geschlossen und geöffnet; diese kurz dauernden Ströme leitet man durch die Drahtspirale *a* des Empfangsapparates, in deren Innern der Eisenstab *b* sich befindet, dessen beide Enden eingeklemmt sind, während er sonst frei sein muß. Auf die eben beschriebene Weise werden also in dem Eisenstab, der etwa die Dimensionen einer Stricknadel hat, Töne erzeugt, die den in den Aufgabeapparat hineingesungenen entsprechen.



Freilich sind diese reproduzierten Töne weder stark noch schön, sondern mehr ein Summen; zur Verstärkung setzt man den ganzen Empfangsapparat auf einen Resonanzkasten *c*, doch auch dann ist der Apparat noch unpraktisch. Das Prinzip ist aber gegeben, der Apparat ist völlig ausgeführt und 1860 und 1861 in Frankfurt a. M. im physikalischen Verein[1]) mehrfach, so wie

1) Jahresber. des physik. Vereins zu Frankf. 1860 u. 1861.

auf der Naturforscherversammlung zu Gießen 1864 öffentlich gezeigt worden.[1]) Trotzdem ist der Apparat fast ganz unbeachtet geblieben; der Erfinder wurde durch langes körperliches Leiden, von welchem er 1874 durch den Tod erlöst wurde, an der Verbesserung verhindert, wenigstens hat der Apparat praktisch vollkommen geruht, und nur wenige speziell eingeweihte Physiker kannten ihn und erkannten seine Vorzüge. In Lehrbüchern der Physik fehlte er vollständig bis — 17 Jahre nach der Erfindung desselben uns dasjenige Telephon von einem Amerikaner, Professor Bell, überliefert wurde, welches nun nicht bloß Töne, sondern auch Sprache übermitteln konnte. Das Reissche Telephon war dazu nicht tauglich, weil die Schwingungen, durch welche die Vokale sich unterscheiden, zu zart sind, als daß der Eisenstab sie reproduzieren könnte, es handelte sich also darum, empfindlichere Körper zu verwenden und womöglich einfache transversale Wellen zu benutzen.

423. Bell ist das Telephon auch nicht fertig in den Schoß gefallen. Fünf Jahre fortgesetzter Arbeit haben diese reife Frucht gezeitigt, und wir müssen sagen: sie ist völlig reif. Als Membran, welche die Schallwellen empfängt und selbst mitschwingt, dient eine dünne Eisenlamelle; hinter derselben befindet sich ein Magnetstab, dem die Lamelle durch die Schwingungen bald genähert wird, bald sich von ihm entfernt und dadurch dessen magnetisches Moment vergrößert oder verkleinert. Das der Lamelle zugewandte Ende des Magnetstabes ist mit einer feinen Drahtspule umgeben, die Intensitätsschwankungen des Magnetismus induzieren auf bekannte Weise hierin Ströme in alternierenden Richtungen. Diese Ströme werden zum genau gleichen Empfangsapparat und durch dessen Drahtspule geführt, wo sie nun verstärkend oder schwächend auf den Magneten wirken; dadurch wird die Anziehung der Eisenlamelle vor demselben verstärkt oder verringert, und es gerät die Lamelle in die gleichen Schwingungen, wie sie die Lamelle des Aufgabeapparates vollführte. Du Bois-Reymond[2]) glaubt

---

1) Elektrotechnische Rundschau 1884. pag. 52, und Paul Reis: das Telephon. Mainz 1878.

2) Beiblätter zu den Annalen II. pag. 50.

nachgewiesen zu haben, daß die Lamellen mit Phasendifferenz schwingen, allein Hermann[1]) zeigte das Gegenteil. Für die Töne hoher Schwingungszahl besteht aber doch sicher eine Phasendifferenz (vgl. auch Helmholtz über Telephon und Klangfarbe in Wied. Annal. Bd. 5). Das Bellsche Telephon ist in seiner Einfachheit großartig und bisher durchaus unübertroffen.

Mehr an das Reissche Telephon schließt sich das Edisonsche, welches ebenfalls einen galvanischen Strom voraussetzt und nicht Stromschluß durch zeitweiligen Kontakt, sondern Stromschwankungen durch vermehrten oder verminderten Druck auf Graphitpulver, welches gleich hinter der Membran in den Stromkreis eingeschaltet ist, herstellt. Es hat sich nicht so bewährt, daß es in Konkurrenz mit dem Bellschen Telephon treten könnte.

Auf demselben Prinzip beruht das Mikrophon, 1878 von Hughes erfunden, in welchem die Stromschwankungen durch größeren oder geringeren Kontakt eines Kohlestiftes, d. h. durch Widerstandsänderung, erreicht werden. Als Hörapparat dient auch bei diesem das Bellsche Telephon.

Versuche, die Stärke der Ströme des Bellschen Telephons zu vergrößern, sind teiweise erfolgreich gewesen, und die Siemensschen[2]) Konstruktionen haben sich in manchen Beziehungen bewährt. Die theoretischen Untersuchungen über die Telephone und Mikrophone, welche jedoch noch nicht abgeschlossen sein möchten, sind wesentlich ausgeführt außer durch die Genannten von H. F. Weber, Helmholtz[3]), Aron[4]) und anderen. Auch für wissenschaftliche Untersuchungen beginnt das Telephon eine hervorragende Rolle zu spielen, seitdem Lorentz[5]) und besonders Niemöller[6]) bei Widerstandsbestimmungen mit der Wheatstoneschen Brücke das Telephon an die Stelle des Galvanometers gesetzt haben.

1) Wied. Annal. Bd. 5. 1878. pag. 83.
2) Wied. Annal. Bd. 4. 1878. pag. 485.
3) Wied. Annal. Bd. 5. 1878. pag. 448.
4) Wied. Annal. Bd. 6. 1879. pag. 403.
5) Wied. Annal. Bd. 7. 1879. pag. 161.
6) Wied. Annal. Bd. 8. 1879. pag. 656.

424. Diese Methode der Widerstandsmessung mit dem Telephon, wobei Induktionsströme verwendet werden müssen, benutzte auch Bell, um die große Veränderlichkeit des Widerstandes von Selen bei verschiedener Belichtung zu prüfen, und das führte ihn zu seinem Photophon. Es ist eine alte Entdeckung, daß das Licht auf Metalle in Bezug auf ihre elektromotorische Kraft einen Einfluß übt. Diese zunächst von E. Becquerel[1]) beobachtete Thatsache an sogenannten lichtempfindlichen Metallen, z. B. Chlorsilber, welche durch die Lichtstrahlen chemische Veränderungen erfahren, wurden bald auch auf solche Metalle ausgedehnt, bei welchen eine chemische Wirkung nicht konstatierbar war, wohl aber eine Wärmewirkung; im allgemeinen waren es aber die chemischen Wirkungen, welche die elektromotorische Stellung von Metallen änderten. Eine ganz eigenartige Entdeckung aber war es, die der Telegraphenbeamte May zu Valencia 1873 an dem 1817 entdeckten Metall Selen machte.[2])

Es giebt eine große Anzahl Varietäten dieses Elementes, besonders zwei unterscheiden sich, es ist das braune amorphe und das metallglänzende, körnig krystallinische Selen. An letzterer Art erkannte Hittorff 1852 die Eigentümlichkeit, daß es im Gegensatz zu den anderen Arten ein Leiter für Elektrizität sei, dessen Leitungsvermögen jedoch von der Temperatur abhänge, und daß das amorphe Selen unter Einfluß des Sonnenlichtes leicht in den krystallinischen Zustand übergehe. Eben dies Selen benutzte man zur Prüfung der submarinen Kabel, und May entdeckte, daß die große Veränderlichkeit im Leitungswiderstande das Selen abhänge von der größeren oder geringeren Belichtung. Seitdem wurde der Einfluß der Belichtung auch auf die elektromotorische Stellung des Selen von Sabine 1878 konstatiert und ist auch in dieser Beziehung Selen einzig dastehend, da die Beobachtungen Börnsteins an anderen Metallen sich in keiner Weise bestätigt haben.

1) Annal. de Chim. et de Phys. Ser. III. Bd. 32. 1851. pag. 176.

2) Vergl. für das folgende: Das Photophon. Vortrag von A. G. Bell. Leipzig, Quandt-Händel. 1880; und Elektrotechnische Zeitschrift, März 1881. pag. 95.

425. Die Schwankungen des Widerstandes wollte Bell nun mittels des Telephons konstatieren. In den Schließungskreis eines Elementes schaltete er eine Selenzelle und ein Telephon ein und ließ auf die Selenzelle intermittierende Lichtstrahlen fallen; da hörte er im Telephon einen Ton, der den Schwebungen der Lichtstrahlen entsprach. Das brachte ihn zur Konstruktion seines Photophon. Ich übergehe die verschiedenen Formen, welche er zuerst versuchte und erwähne nur die von ihm selbst als beste bezeichnete Form. Der Empfangsapparat ist wie eben beschrieben; die intermittierenden Lichtstrahlen werden zu Trägern der Schallwellen gemacht, indem im Aufgabeapparat auf die Rückseite einer die hintere Wand eines Schallbechers begrenzenden Membran ein Spiegel geklebt wird; auf diesen werden die Sonnenstrahlen durch eine Sammellinse konzentriert und die reflektierten Strahlen werden wieder durch eine zweite Linse parallel gemacht; sie treffen nicht direkt die Selenzelle, sondern auf einen parabolischen Spiegel, in dessen Brennpunkt die Zelle sich befindet. Wird nun in den Schallbecher dieses Aufgabeapparates hineingesprochen, so gerät die Membran und mit ihr der Spiegel in Schwingungen; es wird dadurch die Intensität des ausgehenden Lichtes nach dem Takte der Schwingungen geändert und die Selenzelle giebt dies durch Veränderung des Leitungswiderstandes kund, dadurch Stromschwankungen hervorrufend, die im Telephon Töne erzeugen, welche den gesprochenen durchaus entsprechen. Die ersten gelungenen Versuche stellte Bell zu Washington an, wo sein Assistent Tainter ihm durch diese Vorrichtung auf 213 Meter Entfernung die ersten verständlichen Worte zusandte durch die Sonnenstrahlen.

426. Durch spätere Untersuchungen ergab sich Bell nun, daß beim Selen in der That die Lichtstrahlen das wirksame Agens seien, daß aber mit den Wärmestrahlen auch andere Körper ohne Strom und Telephon imstande seien, die Schallschwingungen zu reproduzieren. Wurden die Strahlen nämlich auf Lamellen von Gold, Silber, Platin, Kupfer etc. gebracht, welche ein Hörrohr abschlossen, so entstand ebenfalls die Reproduktion des Tones. Ja nach Bréguet ist auch das nicht nötig, man braucht dieselben nur ins Ohr zu leiten, um direkt zu hören. Besonders lehrreich sind in der Beziehung

die Untersuchungen Mercadiers, der den unzweifelhaften Nachweis führt, daß die Lichtstrahlen dazu überflüssig sind, wenn nur Wärmestrahlen da sind, und der deswegen diese Methode die Radiophonie nennt, sowie die Untersuchungen Röntgens und Tyndalls, welche Gase in Glasröhren durch Wärmestrahlen auf dieselbe Weise zum Tönen brachten. Man kann in Bezug hierauf also auch von Thermophonie reden. Näher auf diese Fragen einzugehen verbieten mir die Grenzen, die ich diesem Buche gesteckt habe.

427. Wenn im Vorstehenden nun ein kurzer Abriß der geschichtlichen Entwickelung der Telegraphie gegeben ist, so knüpfen sich daran wohl noch einige Bemerkungen. Als vor 50 Jahren Gauß und Weber den ersten praktischen Telegraphen einrichteten, als Weber die Gallerie des Johanniskirchturms in Göttingen bestieg um seine beiden Leitungsdrähte über die Stadt hinzuführen, da ahnte wohl noch niemand, zu welcher weltbewegenden Bedeutung dieser erste Versuch gelangen würde. Was die fortgesetzte Arbeit des menschlichen Geistes aus dieser großen Idee jener beiden Heroen der Wissenschaft machen konnte, illustrierte Schering in seiner Gedächtnisrede bei der 100jährigen Jubelfeier des Geburtstages von Gauß in der Festsitzung der königl. Akademie zu Göttingen 1877, indem er aus den statistischen Angaben des Reichstelegraphenamtes berechnete, daß im Jahre 1874 die Einnahmen für Telegramme nahezu 90 Millionen Mark betragen haben für über 101 Millionen Depeschen, das ist der 35. Teil der geschriebenen Briefe. Die Gesamtdrahtlänge betrug damals 1460 Millionen Meter, d. h. sie hätte ausgereicht, um nahezu viermal die Erde mit dem Monde zu verbinden. Was ist nun in den letzten zehn Jahren noch hinzugekommen! Seitdem die Telephonie in die Geschäfte eingeführt ist, seitdem selbst kleine Orte, die früher kaum einen täglichen Briefboten kannten, jetzt mit Bells Telephon die Möglichkeit des direkten Verkehrs mit den entferntesten Orten der Erde bekommen haben, wo täglich neue Telegraphenlinien entstehen, da blicken wir mit noch höherer Dankbarkeit zu den Männern empor, die dies alles ermöglichten. Und wenn wir uns fragen, was soll nun noch Neues kommen, giebt es noch eine Steigerung? so ist das eine Frage, die einer

Antwort nicht bedarf, wenn man die vorgängige Darstellung gelesen. Ob aber eine Steigerung des Erzielten gerade durch das Photophon möglich sein wird, ist noch nicht zu sagen, einstweilen ist die Wirksamkeit desselben noch sehr gering, etwa beschränkt auf eine Entfernung von 2^{km}, und ob es eine praktische Bedeutung je erlangen wird, scheint noch ganz unbeantwortbar; wissenschaftlich hat es einen großen Wert und wird noch viele Fragen zu beleuchten haben, für die wir bisher vergeblich eine Antwort suchten. Wie nun aber auch der Fortschritt vor sich gehen mag, eines habe ich in meiner Darstellung zu zeigen gesucht: wir haben denselben nicht vom Zufall zu erwarten, sondern nur von ernstlicher, wissenschaftlicher Arbeit.

Namenregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Sachregister.

(Die Zahlen bezeichnen die Seiten.)

Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge, unter Mitwirkung der physikalischen Gesellschaft zu Berlin, insbes. des Herrn H. v. Helmholtz, herausg. von G. Wiedemann. Jährlich 3 Bände 8⁰ zu je 4 Heften. Mit Tafeln. ℳ 31.—

Extra-Hefte werden nach Verhältniss besonders berechnet, bilden aber Bestandtheile eines Bandes der fortlaufenden Reihe.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, begründet von J. C. Poggendorff, herausg. von G. u. E. Wiedemann. (Seit 1877). Jährlich ein Band von ca. 1000 Seiten, in 12 Heften. ℳ 16.—

Enthalten Referate über die gesammte physikal. Literatur (speciell die periodische) des In- und Auslandes.

Clausius, R., Die Potentialfunction und das Potential. Ein Beitrag zur mathematischen Physik. 3. Auflage gr. 8⁰. X, 178 Seiten. 1877. ℳ 4.—

Clausius, R., Ueber die verschiedenen Maass-Systeme zur Messung elektrischer und magnetischer Grössen. 8⁰. 24 Seiten. 1882. ℳ 0,60.

Besonders abgedruckt aus den Annalen der Physik.

Donadt, Alfr., Das mathematische Raumproblem und die geometrischen Axiome. 8⁰. 68 Seiten. 1881. ℳ 1.60.

Groshans, J. A., Ein neues Gesetz, analog dem Gesetz von Avogadro. Deutsch von F. Roth. 8⁰. 80 Seiten. 1882. ℳ 2.—

——— **Ueber wässrige Lösungen,** nach den Untersuchungen von Gerlach, Kremers und J. Thomsen. Deutsch von F. Roth. 50 Seiten. gr. 8⁰. 1884. ℳ 1.60.

Beide Schriften sind nach dem Manuscript übersetzt und nur deutsch erschienen.

Hamilton, William Rowan, Elemente der Quaternionen, deutsch von P. Glan. I. Band. gr. 8⁰. XXIV, 726 Seiten mit Fig. 1882. ℳ 20.—

——— ——— II. (letzter) Band 1. Hälfte. 1884. ℳ 6.70.

Holtz, W., Ueber die Zunahme der Blitzgefahr und ihre vermuthlichen Ursachen. Eine Statistik der Gewitter etc. 8⁰. 160 Seiten. 1880. ℳ 2.50.



LEIPZIG,
DRUCK VON METZGER & WITTIG.

